

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA**



**Tesis Monográfica para optar al Título de
Ingeniero Eléctrico**

TITULO:

**“ESTUDIO DE PARAMETROS ELECTRICOS Y ARMONICOS DE LA RED ELECTRICA
DE LA INDUSTRIA TEXTIL VALIDOS SA”.**

Autores:

- Br. Mauricio Antonio Manzanares Araica 2003-18439
- Br. Edwin Jose Torres Bermudez 96-11940-9

Tutor:

MSc.Ing. Juan González Mena

Managua, Julio 2017

ÍNDICE DE CONTENIDO

Introducción	1
I. Problemática actual.....	3
II. Objetivos del Estudio.....	4
1. Objetivo General	4
2. Objetivo Especifico	4
III. Justificación	5
IV. Marco Teórico	6
3. Características típicas de los fenomenos electromagnéticos	7
4. Variaciones de tensión de larga duración	9
5. Desequilibrio de tensiones	11
6. Distorsión de la forma de onda	12
7. Fluctuaciones de tensión.....	15
8. Variaciones de frecuencia en el sistema de potencia	16
9. Equipos de medición de parámetros eléctricos.....	16
10. Teoría sobre Banco de capacitores.....	18
11. Correcciones de los KVAR y FP.	28
V. Hipótesis y Variable.....	53
VI. Metodología de Trabajo	54
VII. Resultados del estudio de parámetros eléctricos y armónicos	56
1. Metodología para Monitoreo.....	56
2. Diagrama Unifilar eléctrico de la instalación	57
3. Resultados en mediciones de Ondas de tensión, corriente y fenómenos electromagnéticos en la instalación eléctrica	60
VIII.Recomendación en base a resultado del estudio de parámetros eléctricos y armónicos	63
IX Conclusiones	68
X. Bibliografía	69

Introducción

El presente estudio de parámetros eléctricos y armónicos se realizará en la industria textil validos SA, ubicada en san marcos Carazo con la finalidad de realizar un diagnóstico actual del sistema eléctrico y recomendar soluciones a los problemas presentados en la red.

Este diagnóstico de los parámetros eléctricos y armónicos es una herramienta técnica utilizada en la evaluación del uso eficiente de la energía. Por lo tanto el buen funcionamiento de los parámetros eléctricos puede definirse como una ausencia de interrupciones, sobre tensiones y deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje RMS suministrado al usuario; esto referido a la estabilidad del voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico.

Asimismo se ha determinado que uno de los problemas más comunes que ocasiona el desperdicio de energía eléctrica en las empresas son los armónicos, pues influye en la eficiencia de los equipos eléctricos que la usan.

Actualmente, el estudio de parámetros eléctricos y armónicos es el resultado de una atención continua; en años recientes esta atención ha sido de mayor importancia debido al incremento del número de cargas sensibles en los sistemas de distribución, las cuales por sí solas, resultan ser una causa de la degradación en la calidad de la energía eléctrica.

Otro término empleado sobre “la eficiencia de la energía eléctrica” es para describir la variación de la tensión, corriente y frecuencia en el sistema eléctrico.

Históricamente, la mayoría de los equipos son capaces de operar satisfactoriamente con variaciones relativamente amplias de estos tres parámetros.

Sin embargo, en los últimos años se han agregado al sistema eléctrico un elevado número de equipos no tolerantes a estas variaciones, incluyendo a los controlados electrónicamente.

Las perturbaciones en la calidad del suministro definidas por el estándar del IEEE han sido organizadas en siete categorías, según la forma de la onda:

- Transitorios
- Interrupciones
- subtensión
- sobretensión
- Distorsión de la forma de onda
- Fluctuaciones de tensión
- Variaciones de frecuencia

Los estudios de estos parámetros de la energía eléctrica nos permiten detectar las desviaciones que se presenten para poder así establecer medidas correctivas.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar los problemas de los parámetros eléctricos : transitorios, armónicas, regulación de voltaje, consumo, factor de potencia, balanceo de fases, revisión del sistema de tierras y fluctuaciones dinámicas de voltaje, en la industria textil validos SA, al mismo tiempo, poder determinar la afectación que tiene sobre el sistema y equipos finales y verificar que cumplan con la norma provisional "perturbaciones permisibles en la forma de onda de tensión y corriente del suministro de energía eléctrica.

I. Problemática actual

Actualmente las instalaciones del sistema eléctricos de la industria textil validos SA, son alimentada por la línea primaria de la Distribuidora Dis-norte Dis-sur 13.2Kv con banco de transformadores en el secundario niveles de 480v/240v , últimamente se dañan tarjetas electrónicas de algunos equipos , además dispara las protecciones (breaker) de algunos circuitos de derivación, desbalanceo de cargas esto provoca exagerado consumo energético y por lo tanto consumo monetario, sin contar el constante apagado de los equipos de climatización.

Podemos decir que existe un problema en la red eléctrica del sistema , además cuando ocurre cualquier desviación de la tensión, la corriente o la frecuencia provoca la mala operación de los equipos de uso final y deteriore la economía o el bienestar de los usuarios; asimismo cuando ocurre alguna interrupción del flujo de energía eléctrica.

Los efectos asociados a problemas de parámetros eléctricos y armónicos son:

- Incremento en las pérdidas de energía.
- Incremento del costo, deterioro de los equipos

Además la industria ha venido creciendo por tanto hay nuevas cargas al sistema eléctrico lo que ha ocasionado un desbalanceo considerablemente en el sistema trifásico, ya que una de la línea tenía más corriente que las otras dos líneas, y esto ocasiona calentamiento en las líneas de suministro.

II. Objetivos del Estudio

1. Objetivo General

- Realizar un estudio de parámetros eléctricos y armónicos de la red eléctrica de la industria textil validos SA.

2. Objetivo Especifico

- Realizar mediciones sobre los parámetros eléctricos , Transitorios Interrupciones, subtensión, sobretensión ,Distorsión de la forma de onda, Fluctuaciones de tensión, Variaciones de frecuencia
- Evaluar las mediciones realizadas sobre los parámetros eléctricos y armónicos para el desarrollo del estudio e incluir resultado de las mediciones efectuadas donde se presentarán tablas y gráficos
- Contribuir al análisis de los parámetros eléctricos enfocado a cumplir con las normas eléctricas nacionales e internacionales.

.

III. Justificación

Actualmente, el estudio de los parámetros eléctricos y armónicos ha adquirido mucha importancia y tal vez la razón más importante es la búsqueda del aumento de productividad y competitividad de las empresas. Asimismo porque existe una interrelación entre calidad de la energía eléctrica, la eficiencia y la productividad.

Para aumentar la competitividad las empresas requieren optimizar su proceso productivo mediante:

- Uso de equipos de alta eficiencia como motores eléctricos, bombas, etc.
- Automatizar sus procesos mediante dispositivos electrónicos y de computación (microcontroladores, computadores, PLC, etc.).
- Reducir los costos vinculados con la continuidad del servicio y la calidad de la energía.
- Reducir las pérdidas de energía.
- Evitar los costos por sobredimensionamiento.
- Evitar el envejecimiento prematuro de los equipos.

Los equipos electrónicos son una fuente de perturbaciones para la calidad de la energía eléctrica pues distorsionan las ondas de tensión y corriente. Por otro lado los equipos de control y automatización son muy sensibles a distorsión de la onda de tensión por lo que una variación en la calidad de la energía eléctrica puede ocasionar fallas que paralicen la producción ocasionando tiempo perdido y costos de producción inesperados.

Entonces hay que convivir con el problema y encontrarle soluciones cada vez más óptimas, para lo cual el estudio de los fenómenos de la calidad de la energía es indispensable.

Es importante destacar que esta experiencia impactara positivamente tanto en los estudiantes como en los docentes que desearan conocer y profundizar en el estudio de los parámetros eléctricos y armónicos.

IV. Marco Teórico

1. Características de las ondas de tensión y corriente

Las ondas de tensión y corriente están definidas por las siguientes características principales:

- Número de Fases. La fase indica la situación instantánea en el ciclo, de una magnitud que varía cíclicamente.
- Amplitud de la onda: la amplitud de una onda es el valor máximo, tanto positivo como negativo, que puede llegar a adquirir la onda sinusoidal.
 - El valor máximo positivo que toma la amplitud de una onda sinusoidal recibe el nombre de "pico o cresta".
 - El valor máximo negativo, "vientre o valle".
 - El punto donde el valor de la onda se anula al pasar del valor positivo al negativo, o viceversa, se conoce como "nodo", "cero" o "punto de equilibrio".
- Frecuencia de la onda: La frecuencia (f) del movimiento ondulatorio se define como el número de oscilaciones completas o ciclos por segundo ($f=1/T$).
- Forma de la onda.

2. Fenómenos electromagnéticos

Si tan sólo ayer se prestaba atención a un grupo relativamente limitado de fenómenos, hoy es necesario tomar en consideración un conjunto más amplio de indicadores de calidad, debido a sus efectos sobre el confort, la confiabilidad, el costo, el consumo, la demanda y el diseño de los sistemas de suministro eléctrico. Paradójicamente, hay más problemas y son escasas o no existen personas preparadas o dedicadas a enfrentarlos. Según la Norma IEEE Estándar 1159 de 1995 los fenómenos electromagnéticos pueden ser de tres tipos:

- Variaciones en el valor RMS de la tensión o la corriente.
- Perturbaciones de carácter transitorio.
- Deformaciones en la forma de onda.

3. Características típicas de los fenómenos electromagnéticos

➤ Transitorio impulsivo

Es un cambio súbito y unidireccional (positivo o negativo) en la condición de estado estable de la tensión, la corriente o ambos y de frecuencia diferente a la frecuencia del sistema de potencia.

Son de moderada y elevada magnitud pero de corta duración medida en microsegundos. Normalmente están caracterizados por sus tiempos de ascenso (1 a 10 μsec) y descenso (20 a 150 μsec) y por su contenido espectral.

➤ Transitorios oscilatorios

Son un cambio súbito en la condición de estado estable de la tensión, la corriente o ambos, con polaridades positivas y negativas y de frecuencia diferente a la frecuencia de operación del sistema.

Este tipo de transitorio se describe por su contenido espectral, duración y magnitud. Por su frecuencia se clasifican en: transitorios de alta, media y baja frecuencia.

- Los transitorios oscilatorios con una frecuencia mayor de 500 kHz y una duración típica medida en microsegundos (o varios ciclos de la frecuencia fundamental) son considerados transitorios oscilatorios de alta frecuencia.
- Cuando la frecuencia se encuentra entre 5 y 500 kHz se considera un transitorio de frecuencia media.
- Un transitorio con una frecuencia inferior a 5 kHz, y una duración de 0,3 ms a 50 ms, se considera un transitorio de **baja frecuencia**.

Sucede en los niveles de subtransmisión y distribución y en los sistemas industriales y es causado por diversos tipos de eventos.

➤ **Variaciones de tensión de corta duración**

a) Depresiones

Las depresiones (Sag o Dip), también conocidas como valles o huecos consisten en una reducción entre 0,1 y 0,9 p.u. en el valor R.M.S. de la tensión o corriente con una duración de 0,5 ciclo a un minuto.

Las depresiones de tensión son normalmente asociadas a fallas del sistema, a la energización de grandes cargas, al arranque de motores de elevada potencia y a la energización de transformadores de potencia.

Los efectos nocivos de las depresiones de tensión dependen de su duración y de su profundidad, estando relacionados con la desconexión de equipos de cómputo, PLC y contactores entre otros dispositivos. También presenta efectos sobre la velocidad de los motores.

Diferentes posibilidades existen para mitigar los efectos de los sags. La primera consiste en estabilizar la señal de tensión a través de acondicionadores de red, los cuales existen con diferentes principios y tecnologías.

b) Crestas

Una cresta (Swell) se define como un incremento del valor R.M.S. de la tensión o la corriente entre 1,1 y 1,8 p.u. con una duración desde 0,5 ciclo a un minuto.

Como en el caso de las depresiones, las crestas son asociadas a fallas en el sistema aunque no son tan comunes como las depresiones.

Un caso típico es la elevación temporal de la tensión en las fases no falladas durante una falla línea a tierra.

También pueden ser causadas por la desconexión de grandes cargas o la energización de grandes bancos de capacitores.

c) Interrupciones

Una interrupción ocurre cuando la tensión o la corriente de la carga disminuyen a menos de 0,1 p.u. por un período de tiempo que no excede un minuto.

Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema, equipos averiados o debidas al mal funcionamiento de los sistemas de control. Las interrupciones se caracterizan por su duración ya que la magnitud de la tensión es siempre inferior al 10% de su valor nominal.

El recierre instantáneo generalmente limita la interrupción causada por una falla no permanente a menos de 30 ciclos. La duración de una interrupción motivada por el funcionamiento indebido de equipos o pérdidas de conexión es irregular.

4. Variaciones de tensión de larga duración

Son aquellas desviaciones del valor R.M.S. de la tensión que ocurren con una duración superior a un minuto. La norma ANSI C84.1 especifica las tolerancias en la tensión de estado estable en un sistema de potencia.

Una variación de voltaje se considera de larga duración cuando excede el límite de la ANSI por más de un minuto. Debe prestarse atención a los valores fuera de estos rangos.

En Nicaragua los límites están definidos por la norma retie entre +10% y -10% de la tensión nominal.

Tabla 1: Tolerancia para las Tensiones de acuerdo a la Norma ANSI

VALOR NOMINAL	RANGO DESEABLE	RANGO ACEPTABLE
120	126 - 114	127 - 110
208	218 - 197	220 - 191
240	252 - 228	254 - 220
277	291 - 263	293 - 254
480	504 - 456	508 - 440
2.400	2.525 - 2.340	2.540 - 2.280
4.160	4.370 - 4.050	4.400 - 3.950
4.800	5.040 - 4.680	5.080 - 4.560
13.800	14.490 - 13.460	14.520 - 13.110
34.500	36.230 - 33.640	36.510 - 32.780

Fuente: Norma ANSI C84.1.

➤ **Clasificación de las Variaciones de Tensión de Larga Duración**

- a. **Sobretensión** es el incremento de la tensión a un nivel superior al 110% del valor nominal por una duración mayor de un minuto.

Las sobretensiones son usualmente el resultado de la desconexión de grandes cargas o debido a la conexión de bancos de capacitores. Generalmente se observa cuando el sistema es muy débil para mantener la regulación de la tensión o cuando el control de la tensión es inadecuado.

La incorrecta selección del TAP en los transformadores ocasiona sobretensión en el sistema.

- b. Se entiende por baja tensión la reducción en el valor R.M.S. de la tensión a menos del 90% del valor nominal por una duración mayor de un minuto.

La conexión de una carga o la desconexión de un banco de capacitores pueden causar una baja tensión hasta que los equipos de regulación actúen correctamente para restablecerlo. Los circuitos sobrecargados pueden producir baja tensión en los terminales de la carga.

La sobretensión y la baja tensión generalmente no se deben a fallas en el sistema. Estas son causadas comúnmente por variaciones de la carga u operaciones de conexión y desconexión. Estas variaciones se registran cuando se monitorea el valor R.M.S. de la tensión contra el tiempo.

- c. Se considera una **interrupción sostenida** cuando la ausencia de tensión se manifiesta por un período superior a un minuto. Este tipo de interrupciones frecuentemente son permanentes y requieren la intervención del hombre para restablecer el sistema.

5. Desequilibrio de tensiones

El desequilibrio de Tensiones en un sistema eléctrico ocurre cuando las tensiones entre las tres líneas no son iguales y puede ser definido como la desviación máxima respecto al valor promedio de las tensiones de línea, dividida entre el promedio de las tensiones de línea, expresado en porcentaje.

El desbalance también puede ser definido usando componentes simétricas como la relación de la componente de secuencia cero ó la componente de secuencia negativa entre la componente de secuencia positiva, expresada en porcentaje.

Las fuentes más comunes del desequilibrio de tensiones son las cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos, los transformadores conectados en delta abierto, fallas de aislamiento en conductores no detectadas.

Se recomienda que el desequilibrio de tensiones sea menor al 2%.

6. Distorsión de la forma de onda

La distorsión de la forma de onda es una desviación estable del comportamiento idealmente sinusoidal de la tensión o la corriente a la frecuencia fundamental del sistema de potencia. Se caracteriza, principalmente, por el contenido espectral de la desviación.

Existen cinco formas primarias de distorsión de la forma de onda:

- Corrimiento DC
- Armónicos
- Interarmónicos
- Hendiduras
- Ruido

a) Corriente DC

La presencia de una tensión o corriente directa (DC) en un sistema de corriente alterna (AC) de potencia se denomina corrimiento DC (DC offset). Esto puede ocurrir debido al efecto de la rectificación de media onda, extensores de vida o controladores de luces incandescentes. Este tipo de controlador, por ejemplo, puede consistir en diodos que reducen el valor R.M.S. de la tensión de alimentación por rectificación de media onda.

Efectos de la presencia de DC en redes de AC:

La corriente directa en redes de corriente alterna produce efectos perjudiciales al polarizar los núcleos de los transformadores de forma que se saturen en operación normal causando el calentamiento y la pérdida de vida útil en estos equipos.

La corriente directa es una causa potencial del aumento de la corrosión en los electrodos de puesta a tierra y en otros conductores y conectores.

b) **Armónicos**

Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales cuya frecuencia es un múltiplo integral de la frecuencia fundamental del sistema la cual, para el caso de nuestro país es 60 Hz.

Las formas de onda distorsionadas son descompuestas, de acuerdo con Fourier, en la suma de una componente fundamental más las componentes armónicas. La distorsión armónica se origina, fundamentalmente, por la característica no lineal de las cargas en los sistemas de potencia.

El nivel de distorsión armónica se describe por el espectro total armónico mediante las magnitudes y el ángulo de fase de cada componente individual. Es común, además, utilizar un criterio denominado distorsión total armónica (THD) como una medida de la distorsión.

Dentro de los efectos nocivos que presentan los armónicos, se pueden citar los siguientes:

- Pueden causar errores adicionales en las lecturas de los medidores de electricidad, tipo disco de inducción.
- Las fuerzas electrodinámicas producidas por las corrientes instantáneas, asociadas con las diferentes corrientes armónicas, causan vibraciones y ruido acústico en transformadores, reactores y máquinas rotativas.
- Son la causa de interferencias en las comunicaciones y en los circuitos de control.
- Provocan la disminución del factor de potencia.
- Están asociados con el calentamiento de condensadores.
- Pueden provocar ferresonancia.
- Provocan calentamiento adicional debido al incremento de las pérdidas en transformadores y máquinas.

- Al incrementarse la corriente debido a los armónicos, se aumentan el calentamiento y de las pérdidas en los cables. Como caso específico, se puede mencionar la presencia de mayor corriente en los neutros de los sistemas de baja tensión.
- Causan sobrecargas en transformadores, máquinas y cables de los sistemas eléctricos.
- Los armónicos de tensión pueden provocar disturbios en los sistemas electrónicos. Por ejemplo, afectan el normal desempeño de los tiristores.

c) Interarmónicos

Se llaman Interarmónicos a las tensiones o corrientes con componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual trabaja el sistema.

Los Interarmónicos se pueden encontrar en redes de todas las clases de tensiones. Las principales fuentes de Interarmónicos son los convertidores estáticos de frecuencia, los ciclo convertidores, los motores asincrónicos y los dispositivos de arco.

Efectos de calentamientos, similares a los producidos por los armónicos, son causados por los Interarmónicos. Debido a que los Interarmónicos son fuentes de fluctuaciones de tensión, se presenta alto riesgo de la generación de flicker.

La mitigación de los efectos de los Interarmónicos se realiza con base en filtros pasivos

d) Muestras de Tensión (Notching)

Conocidas también como hendiduras, las muescas son perturbaciones periódicas en la forma de onda de tensión, causadas por la operación normal de los dispositivos de electrónica de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra.

Como ocurren continuamente, son caracterizadas por el espectro armónico de la tensión afectada.

Generalmente son tratadas como un caso especial ya que los componentes de frecuencia asociados a ellas pueden ser tan altos que no son fácilmente detectados por los equipos de medición normalmente utilizados para el análisis armónico.

Las muescas de tensión causan fallas en las CPU, impresoras láser y mal funcionamiento de algunos equipos electrónicos.

La eliminación de las muescas de tensión implica el aislamiento, de los equipos sensibles, de la fuente que las está produciendo. La inserción de reactancias inductivas también puede servir como solución, para mitigar el efecto de las muescas.

e) Ruido

El ruido es una señal eléctrica indeseable con un contenido espectral inferior a 200 kHz superpuesto a la tensión o a la corriente del sistema en los conductores de las fases o en los conductores neutros o líneas de señales.

7. Fluctuaciones de tensión

Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas del envolvente de la tensión o una serie de cambios aleatorios de la tensión cuya magnitud no excede normalmente los rangos de tensión especificados por la norma ANSI C84.1.

Las cargas que muestran variaciones rápidas y continuas de la magnitud de la corriente pueden causar variaciones de tensión que son frecuentemente denominadas “flicker”.

El término flicker se deriva del impacto de las fluctuaciones de tensión en las lámparas al ser percibidas por el ojo humano como titilaciones.

Una de las causas más comunes de las fluctuaciones de tensión en los sistemas de transmisión y distribución son los hornos de arco. En otros sistemas más débiles las fluctuaciones se pueden deber a la presencia de equipos de soldadura por arco y cargas similares.

La señal de flicker se define por su magnitud R.M.S. expresada como por ciento de la tensión nominal.

Típicamente magnitudes tan bajas como 0,5% de la tensión del sistema pueden producir un titileo perceptible en las lámparas si la frecuencia está en el rango de 6 a 8 Hz.

El flicker de tensión se mide con respecto a la sensibilidad del ojo humano.

8. Variaciones de frecuencia en el sistema de potencia

La variación de frecuencia es la desviación de la frecuencia fundamental del sistema de su valor nominal especificado (60 Hz en el caso de Colombia).

La frecuencia está directamente relacionada con la velocidad de rotación de los generadores que componen el sistema. Normalmente existen ligeras variaciones de frecuencia debido a la fluctuación del balance entre la generación y la demanda de potencia de un sistema.

9. Equipos de medición de parámetros eléctricos.

A. Amperímetro de gancho.

El amperímetro de gancho es una tenaza amperímetra que nos va a mostrar los parámetros de intensidad de corriente en una línea.

En el mercado existen una gran variedad de modelo y marcas por lo que sus rangos varían de acuerdo al modelo y la capacidad a medir, aquí se muestra algunos rangos de operación de algunos equipos:

CARACTERÍSTICAS: En Baja Tensión los rangos de medida son: 60/150/300/600/1200 Amperes y en Alta Tensión existen equipos para medir, directamente en redes de alta tensión, voltaje, corriente, factor de potencia, armónicas, energía, etc. Miden voltaje hasta 40 kV y corrientes de hasta 3000 Amperes en redes de 230 kV.

B. Factorímetro.

El factorímetro es una tenaza fasimétrica, se utiliza para realizar mediciones del factor de potencia en redes monofásicas y trifásicas. Nos da una idea de si estamos trabajando con cargas inductivas o capacitivas.

CARACTERÍSTICAS: En Baja Tensión la intensidad nominal es de 10 a 1000 Amperes para tensiones nominales de 100 V (+/- 20 V), 200 V (+/-40 V) y 300 V (+/-80 V).

Para Alta Tensión la intensidad nominal es de hasta 3000 Amperios para voltajes nominales de hasta 1000 V.

C. Analizador eléctrico de redes.

El analizador de energía eléctrica que nos permite la visualización e impresión de parámetros eléctricos de interés en una instalación eléctrica monofásica o trifásica. Este aparato nos va a permitir controlar y racionalizar cualquier utilización de la energía eléctrica de una instalación.

CARACTERÍSTICAS: El empleo previsto es en baja tensión (460 V máx. C.A.) con corrientes de fase de hasta 1000 Amperes.

La tensión de alimentación se toma directamente de los cables para voltímetros de conexión de la red. LA frecuencia de alimentación. 50/60 Hz. y la forma de conexión de las pinzas puede ser en tres elementos o dos elementos.

D. Analizador de parámetros eléctricos y armónicas.

El analizador de distorsión de armónicas, es un equipo portátil y de fácil manejo. Este equipo determina la calidad de la energía eléctrica, analiza la distorsión armónica en voltaje y corriente, gráfica la forma de onda en voltaje y corriente, Watts, Var's, VA, Factor de Potencia, distorsión de Volt-Amperes.

El equipo puede guardar la información para después cargarla a la computadora por medio de un software para visualizarla y analizarla mejor.

CARACTERÍSTICAS: Estos equipo son para uso en baja tensión por lo que el voltaje va de 1 a 600 V, la corriente de 0 a 1000 Amperes r.m.s. y la potencia va de 0-600 kW.

El software contenido tiene capacidad para guardar 21 datos y permiten una distorsión armónica en el voltaje hasta la 31 THD y una distorsión armónica en corriente hasta la 31 THD.

10. Teoría sobre Banco de capacitores

La potencia reactiva requerida (capacitiva) no es completamente constante durante las 24 horas del día. El requerimiento para potencia reactiva puede ser dividido en tres categorías.

- Requerimiento prácticamente constante

Este caso se aplica cuando la carga reactiva es constante. Esto es cierto considerando la compensación de la corriente de magnetización de un transformador de distribución, por ejemplo: un capacitor fijo puede ser usado.

- Requerimiento variable

Este caso puede resultar cuando la carga reactiva total varía durante el día, pero es aún demasiado pequeña para ser compensada individualmente en los objetos de carga diferentes (por razones de costo). Para este caso se debe usar un capacitor con potencia reactiva variable con la carga. Esto es un banco automático de capacitores.

- Requerimientos instantáneos

Este caso se aplica cuando el requerimiento es significativo en tamaño y la conmutación rápida es esencial (entre 0 y 0.25 ms). Capacitores controlados por tiristores pueden ser empleados.

A. Principio de operación

Cada banco está construido con un cierto número de capacitores trifásicos colocados en el mismo gabinete (contenedor). Los capacitores pueden ser arreglados en grupos en paralelo y conmutados con contactores.

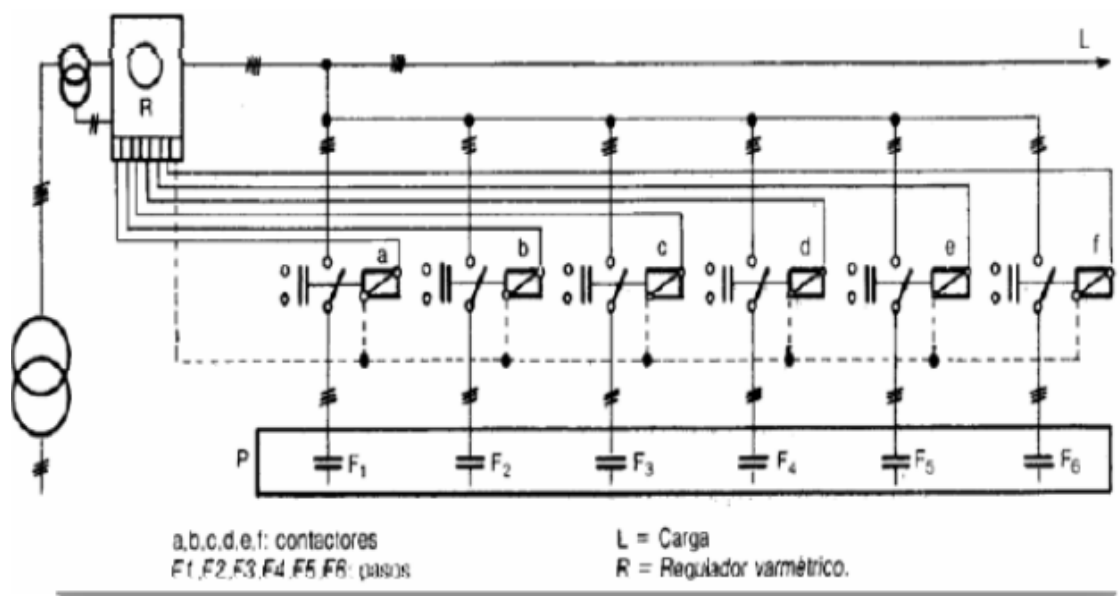


Figura 1: Diagrama esquemático de un banco de capacitores automáticos

- El número de capacitores autónomos está usualmente referido como pasos
- El número de pasos son usualmente cinco o seis
- La conmutación de los contactores y sus capacitores individuales es controlada por un regulador (varimétrico).

B. Bancos auxiliares

Los bancos de capacitores son preparados para grandes rangos de potencia. De hecho la potencia de cada paso de capacitor puede ser doblada instalando próximo al banco principal un banco auxiliar con una superestructura conteniendo seis contactores idénticos a aquellos del banco principal. De esta manera se obtiene una conexión en cascada. Es posible multiplicar el número de bancos aún más. El principio es el mismo, por ejemplo, el contacto auxiliar de cada contactor es usado para enganchar los pasos correspondientes en las siguientes unidades auxiliares. Los bancos de capacitores auxiliares no están equipados con reguladores varimétrico y cada uno aumenta el valor de un paso por un sexto de la potencia adicional conectada.

C. El regulador de varimetrico

El regulador de vares tiene 4 funciones distintas:

a) Medir potencia reactiva requerida y controlar la conmutación (conexión y desconexión) de los diferentes pasos de los capacitores dependiendo del factor de potencia deseado

Esto es de hecho de la siguiente manera:

- Determinación del coseno ϕ deseado
 - Medición del coseno ϕ
 - Ajuste de sensibilidad
 - Control de los pasos del capacitor
 - Intervalos de conmutación entre dos pasos
- b) Desconexión en voltaje cero
- c) Insensibilidad a las armónicas
- d) Señalización de pasos de conmutación

- Medición del coseno ϕ

Las señales de corrientes y voltaje son requeridas para determinar el valor del $\cos\phi$. Si la medición de corriente es hecha en la fase R, por ejemplo, y el voltaje es medido entre las fases S y T, el voltaje resultante estará 90° fuera de fase con respecto a la fase R. Supongamos que el circuito es resistivo ($\cos\phi = 1$).

La corriente en R y el voltaje entre S y T esta cambiado en 90° . La secuencia de fase debe ser notada a fin de obtener una corriente retrasada del voltaje. La señal de la función del $\cos\phi$. Puede ser obtenida de dos formas.

Método de integración

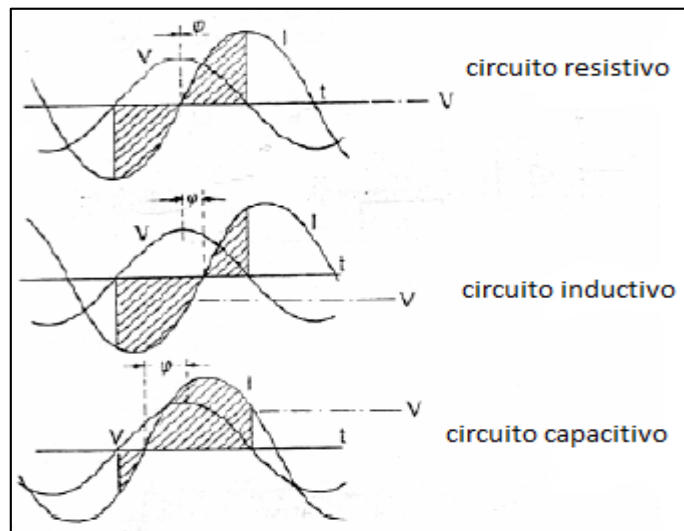


Figura 2: Determinación del $\cos\phi$

Determinamos el valor integral de la corriente durante una mitad de onda cuando el voltaje es positivo. Podemos ver de en la figura anterior la primera gráfica donde la corriente está en fase con el voltaje (no olvide que tenemos cambiado el voltaje en 90°)

que el valor integral es idéntico en la zona positiva y negativa, siendo el resultado cero. En las otras dos gráficas donde la corriente se retrasa (circuito inductivo) o se adelanta (circuito capacitivo), puede verse que el resultado no es más grande que cero, teniendo un valor positivo (circuito inductivo) o un valor negativo (circuito capacitivo).

Puede ser mostrado que este valor resultante es una función de:

- La corriente (la cual es el flujo de corriente principal en CT, si es provisto)
- El desfasamiento de corriente-voltaje

- Método de fase

Las señales de voltaje y corriente usadas son idénticas a aquellas descritas en el método precedente. La señal de voltaje alterno es transformada en un impulso de corta duración con amplitud constante y desfasada 90° .

Esta es una señal senoidal, la cual es una función de la corriente de alimentación transistor de efecto de campo. El voltaje de salida será un impulso con amplitud proporcional al valor de la corriente en ese momento.

- **ajuste del $\cos\phi$**

Este ajuste es hecho externamente por medio de un potenciómetro graduado en valores de $\cos\phi$.

- **Método de integración**

El principio consiste en el desfasamiento de la señal de voltaje (usada para medir los valores del $\cos\phi$) en relación a su fase original la cual es hecha por medio de un circuito RC. Cuando el valor de la resistencia es cero, el valor de voltaje de salida es igual y en fase con el voltaje de entrada. Por el incremento de del valor de la resistencia, desfasamos el voltaje de salida en relación al voltaje de entrada. Como estamos integrando la corriente en función del tiempo donde el voltaje es positivo, el valor del voltaje no tiene importancia, tan sólo la fase es la que importa. La resistencia es regulada por medio de un potenciómetro graduado en valores de $\cos\phi$.

- **Método de fase**

También actuamos sobre el vector de voltaje, por desfasamiento (en avance o retraso) el impulso representa el voltaje, usando un circuito RC en el que la constante de tiempo ha sido cambiada.

- **Ajuste de sensibilidad (c/k)**

El ajuste de (c/k) consiste en usar ya sea atenuación de corriente o amplificación de la señal de salida de la medición del $\cos\phi$.más ajuste. Determinando el valor de $\cos\phi$ deseado por medio de la fijación de la potencia reactiva tolerada para un valor de potencia deseado. En otras palabras, fijando $\cos\phi$ para una corriente activa dada por medio de la fijación de la corriente reactiva. La corriente reactiva es la diferencia entre la corriente resultante de la carga inductiva y la corriente capacitiva.

En el caso de un banco automático, la corriente capacitiva aumenta por paso hasta que alcanza la resultante seleccionada.

Puede verse de inmediato que es imposible obtener la corriente residual aceptable exacta, y que una tolerancia debe ser permitida. Si la tolerancia es insuficiente, hay un riesgo de bombeo, por ejemplo: una sucesión continua de conexión y desconexiones de un paso.

Es evidente que el bombeo puede ser evitado si la tolerancia de sensibilidad total, excede la corriente en un paso del capacitor. En la práctica el regulador no es puesto para reaccionar a cambios muy pequeños de la carga inductiva, sino para cambios correspondientes a 2/3 de la corriente de un paso del capacitor.

Entonces el regulador sensibiliza la corriente de capacitor medio del transformador de corriente, es importante notar el rango del transformador. El valor de la variación también llamada corriente de inicio y es designada por c/k . El valor de c/k puedes ser calculado por la formula siguiente:

$$\frac{I_c}{K} = 0.62 * \frac{Q}{V * \sqrt{3} * k} * (10^3) = 360 * \frac{V}{Q * k}$$

En donde:

Q: potencia nominal de un paso del capacitor en KVAR

V: voltaje de la red en V

k: relación de transformación del transformador de corriente

El rango de las escalas del regulador varía entre 0.07 y 1

Ejemplo: supongamos que tenemos un banco de 120 KVAR/400 V, construido de 6 pasos cada uno de 20 KVAR. La corriente es medida por un transformador de corriente, con rango de 500/5, obtendremos:

$$\frac{C}{K} = 360 * \frac{20}{400 * (500/5)} = 0.18$$

KVAR 230V KVAR 400 V k	6.6	10	13.3	20	26	30	40
	10	20	30	40	50	60	
50/5 10	1	0.90					
100/5 20	0.52	0.45	0.78	0.90	1		
150/5 30	0.34	0.30	0.52	0.60	0.69	0.90	1
200/5 40	0.26	0.23	0.39	0.45	0.52	0.68	0.78
300/5 60	0.17	0.15	0.26	0.30	0.35	0.45	0.52
400/5 80	0.13	0.11	0.20	0.23	0.26	0.34	0.39
500/5 100	0.10		0.16	0.18	0.21	0.27	0.31
600/5 120			0.13	0.15	0.17	0.23	0.26
800/5 160			0.10	0.11	0.13	0.17	0.20
1000/5 200					0.10	0.14	0.16
1500/5 300						0.10	0.12
2000/5 400							0.10
3000/5 600							

Tabla 2: Valor de c/k de acuerdo a los rangos del transformador de corriente y a la potencia reactiva por paso.

El valor de c/k es regulado tomando una parte del voltaje generado por la corriente integrada. Esto es hecho usando un potenciómetro graduado en c/k alimentado en un amplificador en paralelo con un circuito RC. El voltaje CD es la salida representa así una cierta parte de la potencia reactiva para ser compensada.

Este voltaje de salida controla dos transistores uno NPN y otro PNP acoplados en paralelo. Dependiendo de la polaridad del voltaje medio, ya que uno u otro de esos transistores serán controlados.

Los LED'S (diodos emisores de luz) son conectados en los circuitos del colector del transistor. Esos diodos indicarán si la corrección a ser realizada es inductiva o capacitiva.

- **Control de pasos**

La señal de salida ajustada por el potenciómetro de c/k proporciona dos Indicaciones:

- Si tienen un valor suficiente controlará la operación
- Si es positivo, esta operación consiste en conectar un capacitor y viceversa

Por medio de un medidor (circuito integrado) recibiendo a señal, controla los contactores principales por medio de relevadores auxiliares integrados con el regulador de vares.

- **Secuencia de conexión**

Existen tres tipos principales.

a) adición

El primer capacitor es siempre conectado tan pronto como exista una demanda, el segundo, el tercero, etc. Son conectados cuando la demanda aumenta y viceversa. Esto es representado como 1.1.1.1.1.

b) progresión

El banco incluye capacitores con valores diferentes que son múltiplos del primer paso, por ejemplo: 1-2-4 etc. El paso 1 está en la primera demanda, si la demanda aumenta, el paso 2 es conectado y el paso 1 es desconectado. Un problema puede aparecer con la conexión de un capacitor con 4 veces la unidad de potencia, pero esto puede ser reducido con una secuencia 1-2-2.

c) rotación

Los métodos precedentes sólo permiten aumentos y ciertos capacitores (por ejemplo el primero), están con mucha mayor frecuencia conectados, con respecto los otros. En un intento de restaurar el balance tendríamos:

Demanda: conecte 1

Nueva demanda: conecte 2

Reducción: desconecte (no es el 2 como en la secuencia de adición).

- Intervalos de conmutación

El problema con los intervalos demasiado cortos entre operación de conmutación, es importante cuando c/k es calculado inadecuadamente y puede conducir al efecto previamente mencionado llamado búsqueda. Aún si los capacitores están equipados con resistencia de descarga, es necesario permitir un cierto tiempo después de la desconexión de un capacitor antes que una nueva conexión sea hecha, para permitir al capacitor descargarse a un nivel de voltaje residual bajo.

El capacitor, por lo tanto, no debe ser reconectado a una carga antes que haya sido suficientemente descargado. Un cierto tiempo mínimo debe ser fijado entre la desconexión y la reconexión del paso del capacitor. Este tiempo puede ser obtenido en el contador y es típicamente alrededor de 40 segundos. Esto es suficiente para evitar sobre corrientes extras debido a la conmutación repetida del capacitor.

8.a.1 Desconexión en voltaje cero

Para evitar el problema de la auto-excitación en un motor, el capacitor debe ser desconectado cuando el voltaje es cortado. Durante un corte principal excedido en 2 periodos, el medidor es automáticamente puesto a cero. El medidor es reactivado 90 segundos después de la reenergización.

- Armónicas

Las armónicas son más y más comunes en los sistemas de suministro principales, y es imperativo que el regulador de vares deba ser insensible a ellas.

Durante una onda alterna fundamental, la integral de las armónicas pares es cero, pero la integral de las ondas armónicas impares iguala una alternancia.

Paso	Salida					
	1	2	3	4	5	6
	Acoplamiento					
	1	1	1	1	1	1
1	*					
2	*	*				
3	*	*	*			
4	*	*	*	*		
5	*	*	*	*	*	
6	*	*	*	*	*	*

Paso	Salida		
	1	2	3
	Acoplamiento		
	1	2	2
1	*		
2		*	
3	*	*	
4		*	*
5	*	*	*

Figura 3: Conexión de los diferentes pasos y las respuesta a las armónicas

El regulador de vares trabajando por integración es insensible a las armónicas pares y sensibles a las armónicas impares pero con una atenuación. El regulador trabajando por examen de fase es altamente sensible a las armónicas, y debe tener un filtro de entrada que permita el paso de la onda fundamental sin modificación y las frecuencias altas atenuadas considerablemente por ejemplo:

- 1/5 de la 1era/2da armónica
- 1/10 de la 3era armónica
- 1/20 de la 4a armónica

11. Correcciones de los KVAR y FP.

Los transformadores, equipos de soldar, hornos de inducción, lámparas de descarga (fluorescentes, de vapor, de mercurio, etc.), consumen potencia reactiva inductiva, como lo hacen los motores eléctricos.

Esta potencia reactiva debe ser generada en algún lugar. Esta es la razón para instalar capacitores. Los capacitores no consumen prácticamente potencia activa y pueden producir energía reactiva localmente, compensando así la potencia reactiva inductiva consumida por las máquinas antes mencionadas, individualmente o en grupos.

Para una potencia activa constante, la potencia reactiva transmitida para este grupo de cargas (la carga inductiva y el capacitor) puede así ser reducida; el factor de potencia en la red ha sido mejorado o corregido. De esto surge la pregunta:

¿Por qué mejorar el factor de potencia?

Reducción del recargo de reactiva en la factura de electricidad, dicho coeficiente de recargo se aplica sobre el importe a pagar por la suma de los conceptos siguientes:

- Término de potencia (potencia contratada)
- Término de energía (energía consumida)

La fórmula que determina el coeficiente de recargo es la siguiente:

$$K_R = \frac{17}{\cos \phi} - 21$$

Obteniéndose los coeficientes indicados en la tabla 2

$\cos\varphi$	Kr
1	- 4 %
0.95	- 2.2 %
0.9	0.0 %
0.8	5.6 %
0.6	26.2 %
0.5	47.0 %

Tabla3: Valores del coeficiente de recargo Kr

Optimización técnico-económica de la instalación, un buen factor de potencia permite optimizar técnica y económicamente una instalación. Evita el sobredimensionamiento de algunos equipos y mejora su utilización.

Disminución de la sección de los cables, en la tabla 3 indica el aumento de sección de los cables motivado por un bajo $\cos\varphi$. De este modo se ve que cuanto mejor es el factor de potencia (próximo a 1). Menor será la sección de los cables.

Factor multiplicador de la sección	1	1.25	1.67	2.5
$\cos\varphi$	1	0.8	0.6	0.4

Tabla 4: Factor multiplicador de la sección de los cables en función del $\cos\varphi$

Disminución de las pérdidas en las líneas, un buen factor de potencia permite también una reducción de las pérdidas en las líneas para una potencia activa constante. Las pérdidas en vatios (debidas a la resistencia de los conductores) están, efectivamente, integradas en el consumo registrado por los contadores de energía activa (Kwh) y son proporcionales al cuadrado de la intensidad transportada.

Reducción de la caída de tensión, la instalación de condensadores permite reducir, incluso eliminar, la energía reactiva transportada, y por lo tanto reducir las caídas de tensión en línea. Aumento de la potencia disponible, la instalación de condensadores aguas abajo de un transformador sobrecargado que alimenta una instalación cuyo factor de potencia es bajo, y por lo tanto malo, permite aumentar la potencia disponible en el secundario de dicho transformador. De este modo es posible ampliar una instalación sin tener que cambiar el transformador.

NOTA: Recuerde la mejora del factor de potencia optimiza el dimensionamiento de los transformadores y cables. Reduce también las pérdidas en las líneas y las caídas de tensión. Resumiendo, podemos clasificar los factores anteriormente mencionados en beneficios económicos y beneficios en los equipos cuando se hace un mejoramiento del factor de potencia entre estos podemos mencionar.

Beneficios en los equipos:

- Disminución de las pérdidas en conductores
- Reducción de las caídas de tensión
- Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores
- Incremento de la vida útil de las instalaciones

Beneficios económicos:

- Reducción de los costos por facturación eléctrica
- Eliminación del cargo por bajo factor de potencia

a) Principio de compensación

Las cargas inductivas requieren potencia reactiva para su funcionamiento. Esta demanda de reactivos se puede reducir e incluso anular si se colocan capacitores en paralelo con la carga. Cuando se reduce la potencia reactiva, se mejora el factor de potencia.

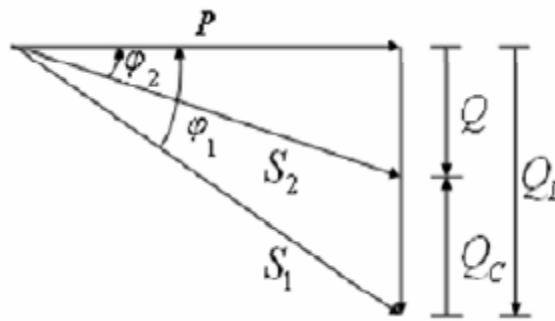


Figura 4: Esquema de compensación del factor de potencia

En la figura 8 se tiene que:

Q_L : es la demanda de reactivos de un motor y S la potencia aparente correspondiente.

Q_C : es el suministro de reactivos del capacitor de compensación

La compensación de reactivos no afecta el consumo de potencia activa, por lo que P es constante. Como efecto del empleo de los capacitores, el valor del ángulo φ_1 se reduce a φ_2 . La potencia aparente S_1 también disminuye, tomando el valor de S_2 . Al disminuir el valor del ángulo se incrementa el factor de potencia.

La Compensación del factor de potencia en un circuito monofásico: en el cual las cargas inductivas requieren potencia reactiva para su funcionamiento. Esta demanda de potencia reactiva se puede reducir e incluso anular si se colocan condensadores en paralelo con la carga. Cuando se reduce la potencia reactiva, se mejora el factor de potencia.

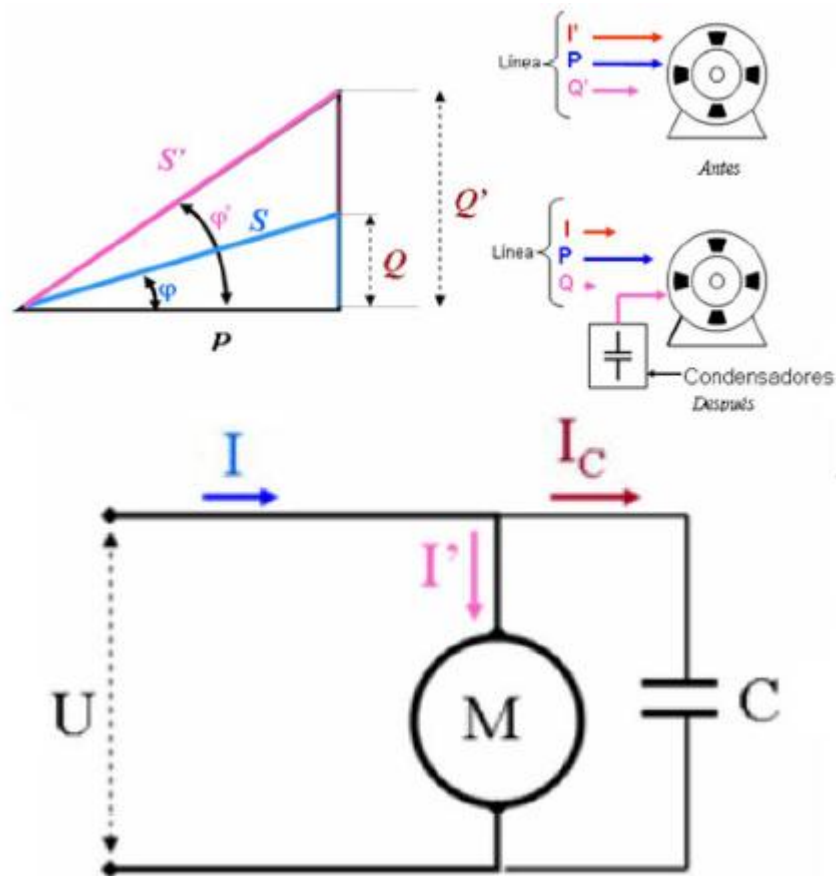


Figura 5: Compensación en un motor monofásico

La compensación del factor de potencia en un circuito trifásico: en el cual las cargas inductivas requieren potencia reactiva para su funcionamiento. Esta demanda de potencia reactiva se puede reducir e incluso anular si se colocan condensadores en paralelo con la carga. Cuando se reduce la potencia reactiva, se mejora el factor de potencia.

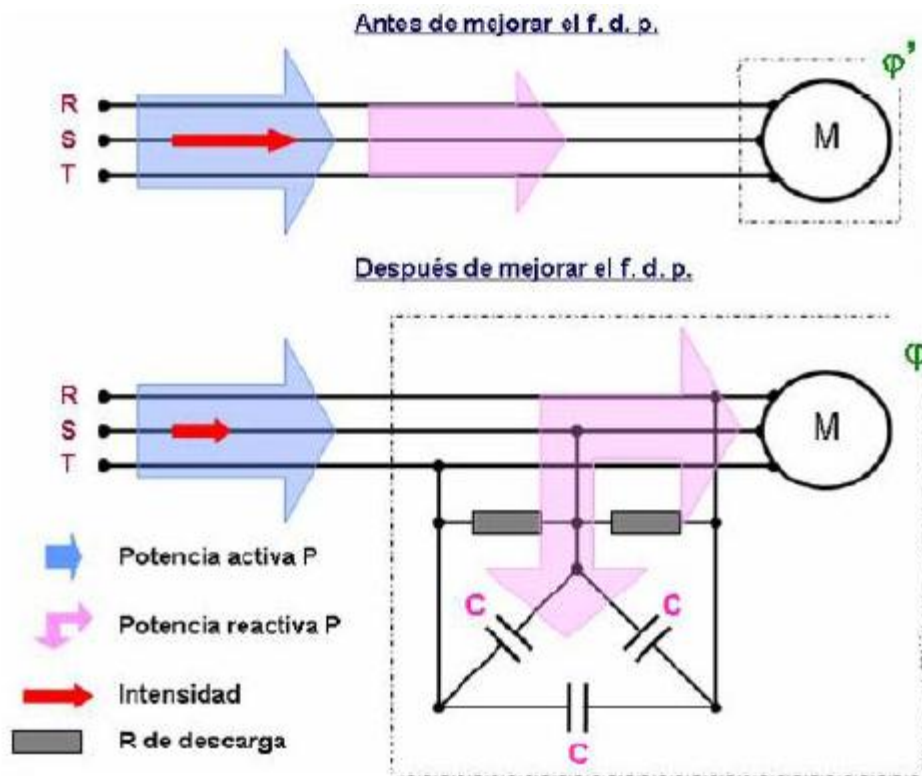


Figura 6: Compensación en un motor trifásico

b) Determinación del valor del capacitor

Para determinar la potencia óptima del banco de condensadores, es necesario tener en cuenta los elementos siguientes:

- Facturas de electricidad antes de instalar el banco
- Facturas provisionales de electricidad después de instalar el banco de condensadores
- Gastos relativos a la compra del banco de condensadores y su instalación

Se proponen 3 métodos simplificados para el cálculo de la potencia del equipo de compensación.

i. Método simplificado

Un cálculo muy aproximado es suficiente. Consiste en considerar que el $\text{Cos}\phi$ de una instalación es en promedio de 0,8 sin compensación. Se considera que hay que subir el factor de potencia a $\text{Cos}\phi = 0,93$ para eliminar las penalizaciones y compensar las pérdidas habituales de energía reactiva de la instalación. Para subir de este modo el $\text{Cos}\phi$ en la tabla de multiplicadores de los kilowatts para corregir el factor de potencia (ver tabla 4) indica que, para pasar de $\text{Cos}\phi = 0,8$ a $\text{Cos}\phi = 0,93$. La potencia del banco de condensadores a instalar (a la cabeza de la instalación). Será:

$Q \text{ (kVAR)} = \text{factor de corrección (tabla de multiplicadores de los kilowatts para corregir el factor de potencia)} * P \text{ (kW)}$.

Factor de Potencia Existente	Factor de potencia corregido					
	100%	95%	90%	85%	80%	75%
50	1.732	1.403	1.247	1.112	0.982	0.850
52	1.643	1.314	1.158	1.023	0.983	0.761
54	1.558	1.229	1.073	0.938	0.808	0.676
55	1.518	1.189	1.033	0.898	0.768	0.636
56	1.479	1.150	0.994	0.859	0.729	0.597
58	1.404	1.075	0.919	0.784	0.654	0.522
60	1.333	1.004	0.848	0.713	0.583	0.451
62	1.265	0.936	0.780	0.645	0.515	0.383
64	1.201	0.872	0.716	0.581	0.451	0.319
65	1.168	0.839	0.683	0.548	0.418	0.286
66	1.139	0.810	0.654	0.519	0.389	0.257
68	1.078	0.749	0.593	0.458	0.328	0.196
70	1.020	0.691	0.535	0.400	0.270	0.138
72	0.964	0.635	0.479	0.344	0.214	0.082
74	0.909	0.580	0.424	0.289	0.159	0.027
75	0.882	0.553	0.397	0.262	0.132	
76	0.855	0.526	0.370	0.235	0.105	
78	0.802	0.473	0.317	0.182	0.052	
80	0.750	0.421	0.265	0.130		
82	0.698	0.369	0.213	0.078		
84	0.646	0.317	0.161			
85	0.620	0.291	0.135			
86	0.594	0.265	0.109			

Tabla 5: Tabla de multiplicadores de los kilowatts para corregir el factor de potencia

Esta relación permite hallar rápidamente un valor muy aproximado de la potencia de condensadores a instalar.

ii. Método basado en los datos del recibo de electricidad

Datos obtenidos del recibo

- El periodo del recibo (1 mes, 2 meses,...)
- El consumo de energía activa (Kwh.), (suma de Kwh. correspondientes a activa, punta, valle y llano)
- Consumo de energía reactiva (KVARh)

Datos obtenidos en la instalación

- Cálculo de horas efectivas de funcionamiento al mes: (Ejemplo: h = 22días x 9 h/día = 189 h/mes)
- Cálculo según estos datos:

$$\text{Cos}\phi_{\text{inicial}} = \frac{\text{kWh}}{\sqrt{(\text{kWh})^2 + (\text{kVARh})^2}}$$

Potencia activa consumida en el periodo

$$P = \frac{\text{kWh (consumo de energía activa en el periodo)}}{\text{Periodo recibo} \cdot \text{horas efectivas de funcionamiento}}$$

A partir de la potencia activa, el $\text{Cos}\phi$ inicial y el $\text{Cos}\phi$ deseado, según los puntos Método simplificado o Método basado en el cálculo de potencias se podrá calculara Q necesaria.

iii. Método basado en el cálculo de potencias

Datos conocidos

- Potencia activa (kW)
- $\cos\phi$ inicial
- $\cos\phi$ deseado

Cálculo

$$Q \text{ (KVAR)} = \text{Potencia activa (kW)} * (\tan\phi \text{ inicial} - \tan\phi \text{ deseada})$$

c) Problemas con motores

i. Factor de potencia de motores asíncronos

Además de la potencia activa, el motor asíncrono también requiere potencia reactiva para la magnetización de los bobinados. Esta potencia reactiva es prácticamente independiente de la carga del motor. Ello supone que la relación entre la potencia activa y la potencia reactiva, disminuye con la carga y que el factor de potencia también disminuye.

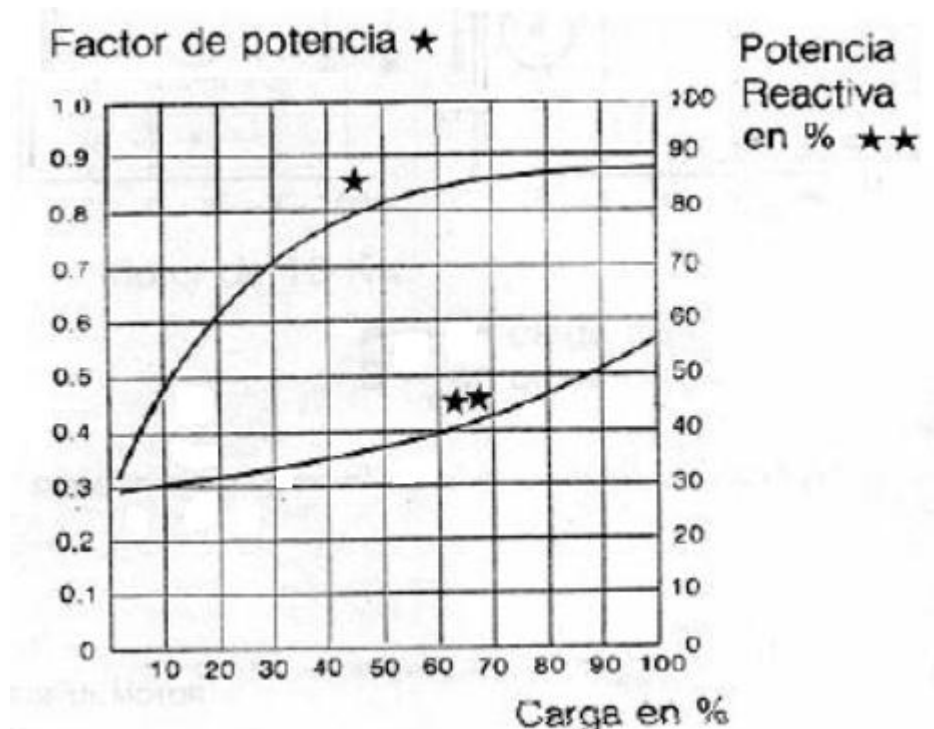


Figura 7: Factor de potencia versus potencia reactiva

Al mismo tiempo, un aumento en la corriente de magnetización obtenido por el aumento del voltaje aplicado, conducirá a una disminución del factor de potencia, por otro lado para valor de potencia iguales, un motor operando en baja velocidad demandará una corriente de magnetización alta en relación con un motor de alta velocidad, el motor en baja velocidad tendrá, por lo tanto, un factor de potencia bajo en relación con un motor de alta velocidad.

ii. Compensación central

El caso más desfavorable ocurre cuando existe un solo motor conectado a la red de alimentación. En el instante de conmutación aparece un sobre voltaje que puede ser evaluado con los diagramas dados previamente. Este voltaje cae rápidamente a cero. La velocidad del motor y la frecuencia, disminuyen.

Es posible que pueda haber resonancia entre la inductancia de fuga y el capacitor en un cierto valor de esta frecuencia variable (en función de la velocidad). Un nuevo sobre voltaje aparecerá de repente, este sobre voltaje puede causar ruptura en el motor, en el capacitor, etc. En resumen esta demanda de potencia repentina bloqueará el rotor y puede conducir a un daño mecánico.

Este sobre voltaje puede ser producido considerablemente si la carga tiene un valor suficientemente alto o si existen bobinas saturadas en el circuito. Este caso de compensación general con capacitores fijos, es deseable conectar los capacitores a la salida del transformador, por ejemplo, antes del interruptor de bajo voltaje.

También es posible diseñar el circuito del capacitor con un relevador de voltaje mínimo o usar bancos automáticos (que en nuestro caso tiene un relevador de voltaje cero) y los cuáles serán en cualquier momento adaptables a la potencia capacitiva de acuerdo al requerimiento del sistema evitando así, la auto-excitación de los motores.

d) Instalación de capacitores

No olvide que algunos medidores de energía reactiva miden tanto energía capacitiva, como inductiva. La última meta en la corrección del factor de potencia es reducir o aún eliminar el costo de la energía reactiva en la lectura de la electricidad.

Para hacer esto es necesario distribuir las unidades capacitoras, dependiendo de su utilización, en el lado del usuario del medidor de potencia.

Las unidades capacitoras pueden ser instaladas en varios puntos de la red de alimentación de una planta. Cuatro tipos de instalaciones principales pueden distinguirse:

- compensación individual
- Compensación en grupo
- Compensación central
- Compensación combinada

i. Compensación individual

La compensación individual se refiere a que cada consumidor de potencia inductiva se le asigna un capacitor que suministre potencia reactiva para su compensación. La compensación individual es empleada principalmente en equipos que tienen una operación continua y cuyo consumo inductivo es representativo.

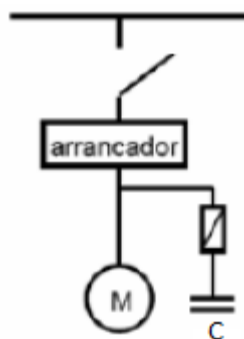


Figura 8: Diagrama de compensación individual

ii. Compensación en grupo

Es aconsejable compensar la potencia inductiva de un grupo de cargas, cuando éstas se conectan simultáneamente y demandan potencia reactiva constante, o bien cuando se tienen diversos grupos de cargas situados en puntos distintos.

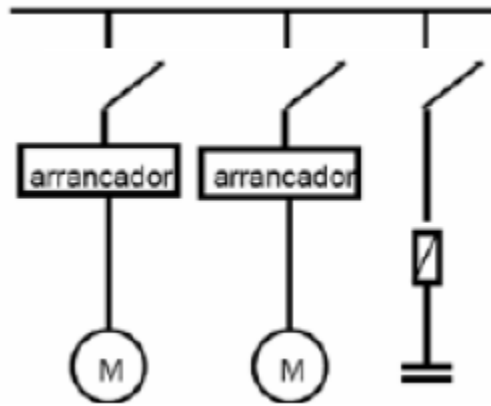


Figura 9: Diagrama de compensación en grupo

iii. Compensación central

Este tipo de compensación ofrece una solución generalizada para corregir el factor de potencia ya que la potencia total del banco de capacitores se instala en la acometida, cerca de los tableros de distribución de energía, los cuales, suministran la potencia reactiva demandada por diversos equipos con diferentes potencias y tiempos de operación.

La potencia total del banco de capacitores se divide en varios bloques que están conectados a un regulador automático de energía reactiva, que conecta y desconecta los bloques que sean necesarios para obtener el factor de potencia previamente programado en dicho regulador.

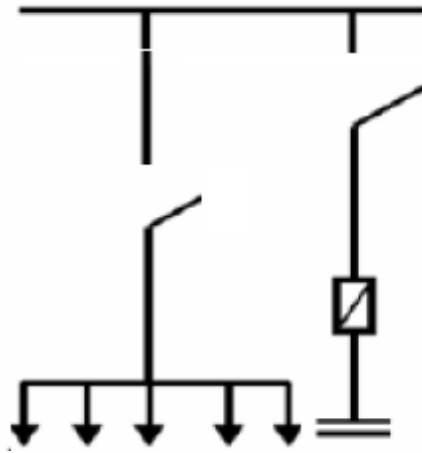


Figura 10: Diagrama de compensación central

iv. Compensación combinada

Este tipo de compensación es aquella en la cual se utilizan dos o más de las expuestas anteriormente, es decir, compensación individual, compensación central o compensación en grupo.

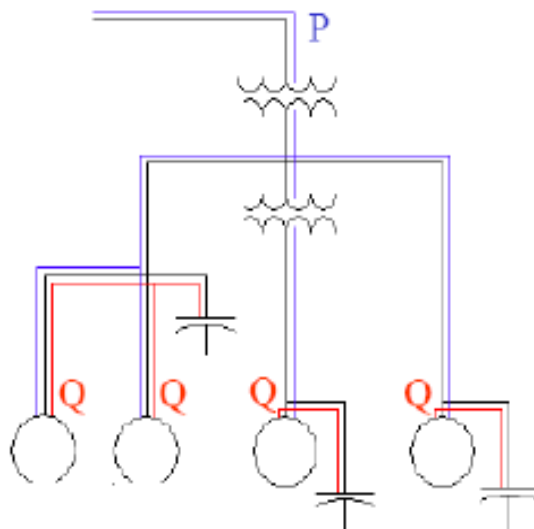


Figura 11: Diagrama de compensación combinada

v. Localización de capacitores

Para la instalación de los capacitores deberán tomarse en cuenta diversos factores que influyen en su ubicación como lo son: La variación y distribución de cargas, el factor de carga, tipo de motores, uniformidad en la distribución de la carga, la disposición y longitud de los circuitos y la naturaleza del voltaje.

Se puede hacer una corrección del grupo de cargas conectando en los transformadores primarios y secundarios de la planta, por ejemplo, en un dispositivo principal de distribución o en una barra conductora de control de motores.

La corrección de grupo es necesaria cuando las cargas cambian radicalmente entre alimentadores y cuando los voltajes del motor son bajos, como por ejemplo, 230 V.

Cuando los flujos de potencia cambian frecuentemente entre diversos sitios de la planta y cargas individuales, se hace necesario efectuar la corrección primero en una parte de la planta, verificar las condiciones obtenidas y después compensar en la otra.

Sin embargo, es más ventajoso usar un capacitor de grupo ubicado lo más equidistante que se pueda de las cargas. Esto permite la desconexión de una parte de los capacitores de acuerdo a condiciones específicas de cargas variables.

Cuando la longitud de los alimentadores es considerable, se recomienda la instalación de capacitores individuales a los motores, por supuesto se necesitarán varios condensadores de diferentes capacidades, resultando esto en un costo mayor. Sin embargo deberá evaluarse el beneficio económico obtenido con la compensación individual. Considerando que el costo de los capacitores para bajos voltajes es más del doble que los de altos voltajes.

Debemos también considerar que, cuando los capacitores se instalan antes del banco principal de transformadores, éstos no se benefician y no se alivia su carga en KVA. Esta es una buena razón para usar capacitores de 230 V a pesar de su alto costo.

Correcciones aisladas: La corrección aislada del factor de potencia se debe hacer conectando los capacitores tan cerca como sea posible de la carga o de las terminales de los alimentadores.

Debe recordar que la corrección se lleva a cabo sólo del punto considerado a la fuente de energía y no en dirección opuesta. Los capacitores instalados cerca de las cargas pueden dejar de operar automáticamente cuando las cargas cesan, incrementan el voltaje y por ende el rendimiento del motor.

vi. Aspectos a ser tomados en cuenta

Capacidad de conducción de corriente de la instalación

La corriente nominal de los cables o barras conductoras, equipos de conexión y desconexión, cuchillas, etc. Debe ser, como mínimo, el 135% de la corriente nominal capacitiva que soportan. Con excepción de los fusibles cuya corriente nominal no debe ser inferior al 165% de la corriente nominal de los condensadores.

Voltaje nominal del equipo accesorio

El voltaje nominal de los contactores, interruptores, cuchillas, desconectores, fusibles, etc. no debe ser inferior al voltaje de línea a la que estén conectados a los condensadores.

Tipos de instalación

Los condensadores pueden ser instalados al interior, o a la intemperie, si han sido fabricados por soportar este tipo de operaciones.

Instalación al interior

Las partes vivas de los condensadores quedan protegidos por medio de cubiertas o gabinetes que impidan el contacto directo con personas u otros equipos.

Instalaciones a la intemperie

En caso de no usarse cubiertas de protección o gabinetes, los condensadores deben instalarse protegidos por medio de una cerca o montados sobre una estructura elevada que deje las partes vivas a la altura reglamentaria correspondiente, según el voltaje. Los condensadores tipo intemperie deben contar con un acabado, clase aislado y nivel básico de impulso para este uso. Se consideran recomendable 1,2 KV. De su aislamiento y 30 KV. De nivel básico de impulso.

Dispositivo de descarga

Los condensadores deben contar con un dispositivo de descarga que asegure que el voltaje entre bornes de baja a 50 voltios o menos durante el primer minuto después de su desconexión. Este dispositivo puede ser interno o externo a los tanques de los condensadores y pueden estar conectado permanentemente, o bien conectarse automáticamente al salir de la operación los condensadores.

El accionamiento de los dispositivos de descarga no debe efectuarse manualmente. Los devanados de motores o transformadores, conectados en paralelo con los condensadores, pueden considerarse como dispositivos de descarga eficaces, siempre que no exista un equipo de desconexión o fusibles internos entre dichos devanados y los condensadores.

Operación rápida de conexión y desconexión

No es recomendable volver a conectar en línea un condensador que se encuentre todavía cargado. Estas implicaciones especiales, tales como la corrección del factor de potencia de motores para grúas y elevadores, bancos de condensadores de secciones desconectables que entran y salen rápidamente de operación, por medio de un control automático, que es posible que haya que volver a conectar condensadores que acaban de salir de operación.

En estos casos es recomendable instalar dispositivos especiales de descarga rápida, que sean capaces de descargar los condensadores en pocos segundos antes de que vuelvan a entrar en operación, o bien, usar equipo de conexión y desconexión provisto de un aditamento capaz de limitar las sobre corrientes y sobre voltajes transitorios asociados con la conexión de los condensadores.

Bancos de condensadores fijos

Al instalar bancos de condensadores fijos, o bancos que van a quedar permanentemente conectados a la línea deben instalarse cuchillas desconectores que permitan desconectar los condensadores durante las operaciones de mantenimiento sin que sea necesario paralizar el resto de la instalación.

Bancos de condensadores desconectables

Al instalar bancos desconectables, es decir, bancos que entran y salen de operación con cierta frecuencia operado manual o automáticamente, deben conectarse cuchillas desconectores que permitan desconectar tanto condensadores y equipos de conexión y desconexión, a fin de facilitar el mantenimiento de ambos equipos.

Disposición de los condensadores

Los condensadores deben instalarse respetando las distancias mínimas entre condensador y condensador que recomienda los fabricantes de los mismo y en una disposición tal que sean fácilmente desconectables y reemplazables, a fin de facilitar la buena y continua operación de los condensadores.

Puesta a tierra de los tanques

Los tanques de condensadores así como la cubierta o gabinetes que sirvan de protección de sus partes vivas, deben instalarse conectados a tierra.

Corrección de factor de potencia para motores de inducción

Cuando se compensan individualmente motores de inducción instalándose condensadores entre el motor y su equipo de arrastre y parada, la potencia reactiva de los condensadores no debe exceder a la necesaria corrección del factor de potencia del motor por unidad, en condiciones de marcha en vacío.

Recalibración de los elementos térmicos de motores de inducción compensados por condensadores

Cuando se compensan individualmente motores de inducción instalándose los condensadores entre el motor y su dispositivo de protección térmica, deben recalibrarse los elementos teniendo en cuenta la nueva corriente que toma el motor con el factor de potencia corregido.

Compensación de transformadores

Cuando se corrige el factor de potencia de un transformador con un condensador instalado en el secundario del mismo, y existe la posibilidad de que los condensadores y el transformador trabajen en vacío, la potencia reactiva de los condensadores expresada en KVAR no debe exceder del 10% de la potencia nominal del transformador, expresada en KVA.

Ventilación

Los condensadores deben instalarse de forma que la ventilación por convección no quede entorpecida por ningún obstáculo. Cuando los condensadores se instalen dentro de un gabinete, puede ser conveniente hacerlo funcionar con ventilación forzada.

En cualquier caso, las temperaturas ambiente del local o del interior del gabinete donde se encuentren funcionando los condensadores, no deben sobrepasar los límites recomendados por las normas del fabricante del mismo.

No es recomendable instalar los condensadores cerca de superficies radiadoras de calor cuya temperatura sea superior a la temperatura ambiente.

Frecuencia y voltaje de operación

Los condensadores pueden ser operados a frecuencias y voltajes inferiores a sus valores nominales. Esto implica una disminución de la potencia reactiva proporcionada, que es directamente proporcional a la frecuencia y al cuadrado del voltaje.

Sin embargo, los condensadores, no deben colocarse en frecuencias o voltajes superiores a sus valores nominales. La fluctuaciones de voltaje no deben exceder los límites superiores permitidos especificados por los fabricantes de los condensadores. En condensadores tipo intemperie este límite será 10% de sobre voltaje, con respecto al voltaje nominal de los condensadores.

Protección

Los condensadores deben instalarse con dispositivos de protección contra sobre corrientes que provengan tanto de fallas de un condensador, como cualquier cortocircuito de la instalación. La capacitancia interruptiva de estos dispositivos debe ser la adecuada para magnitud de sobre corrientes que deban relevar y debe planearse el que actúen con mayor velocidad que resulta práctica. Cuando los condensadores se instalen entre un motor eléctrico y su dispositivo de protección, no es necesario instalar un dispositivo especial para los condensadores.

Protección con fusibles

Pueden usarse fusibles de potencia tipo estándar tanto para la protección general de la instalación como para la protección individual de los condensadores. La protección general debe efectuarse con tantos fusibles como líneas energizadas existan.

Las protecciones individuales de los condensadores monofásicos pueden efectuarse con un solo fusible por condensador y la de los condensadores trifásicos con dos fusibles por condensador. Si los condensadores llevan instalados fusibles internos, pueden instalarse la protección individual. La corriente nominal de los fusibles no debe ser inferior al 165% de la corriente nominal capacitiva que soporten.

Protección con interruptores

Pueden usarse interruptores magnéticos o termo-magnéticos. O cualquier otro tipo de interruptores de potencia para baja tensión de uso estándar siempre que se tomen en cuenta los márgenes de corriente especificados por el fabricante de los equipos al ser operados con cargas capacitivas puras. La corriente nominal del interruptor en ningún caso debe ser inferior al 135% de la corriente nominal de los condensadores.

Conexión y desconexión

Los condensadores deben instalarse con un dispositivo de desconexión capaz de interrumpir la corriente de cada uno de los conductores energizados, con la excepción del caso en que los condensadores se instalen entre un motor eléctrico y su dispositivo de conexión y desconexión.

En este caso, el dispositivo de conexión y desconexión del motor pueden servir para operar el motor y los condensadores juntos. No es necesario que el dispositivo de desconexión interrumpa al mismo tiempo la corriente de todos los conductores de energizados.

Como dispositivo de conexión y desconexión pueden usarse cuchillas, contactores magnéticos o termo-magnéticos, o cualquier tipo de interruptores de potencia para baja tensión de uso estándar, siempre que se tome en cuenta las especificaciones del fabricante en estos equipos al ser operados para cargas capacitivas puras.

La corriente nominal del dispositivo de conexión y desconexión en ningún caso debe ser inferior al 135% de la corriente nominal de los condensadores.

El dispositivo de conexión y desconexión debe ser capaz de soportar en posición de contactores cerrados, la corriente de cortocircuito del sistema en el punto donde se encuentren instalados los condensadores, aun cuando no esté planeado o no sea capaz de interrumpir dichas corrientes de cortocircuito.

Control

Cuando se instalen condensadores que entren y salgan de operación automáticamente, debe tenerse especial cuidado en la selección según las fluctuaciones de los valores del factor de potencia a fin de cumplir con los niveles y esquemas de compensación reactiva que se deseen. Instalación en condiciones anormales de operación. Se considera como condiciones anormales de operación:

- Exposición a choques mecánicos o vibraciones
- Exposición a superficies radiadoras de calor, que se encuentran a temperaturas superiores a la temperatura ambiente
- Montaje que dificulte la ventilación de los condensadores
- Operación a temperaturas ambientes más altas que la temperatura ambiente permisible según la norma de fabricación de los condensadores
- Operación a altitudes mayores de los 1800 metros sobre el nivel del mar
- Operaciones de redes con forma de onda de voltaje distorsionada

En estos casos, se considera recomendable que el fabricante de los condensadores sea puesto en antecedentes de las condiciones en que se pretende operar.

Instalación en zonas peligrosas

Se consideran zonas peligrosas:

- Atmósferas con humo o vapores corrosivos
- Atmósferas con polvo o vapores conductores, inflamables o explosivos

En estos casos deben tomarse medidas de seguridad reglamentarias y poner antecedentes al fabricante de los condensadores.

Datos de placa de características

Los condensadores deben ir provistos de placas de características que indiquen:

- Nombre del fabricante
- Voltaje nominal del condensador(voltaje aplicable entre bornes)
- Potencia reactiva nominal, o bien corriente nominal por fase
- Frecuencia

- Numero de fases
- Tipo de conexión cuando los condensadores sean trifásicos
- Numero de catálogo o especificación del fabricante
- Número de serie del condensador
- Tipo de impregnaste y numero de litros cuando este sea combustible
- Indicación de si el condensador cuenta o no con un dispositivo de descarga interno

Precauciones con condensadores impregnados con askareles

Los condensadores impregnados con askareles deben llevar una placa especial en donde se indique que el impregnante es un elemento contaminante del medio ambiente y que no debe ser arrojado a los caños del drenaje.

vii. Compensación de un motor individual

El método de compensación individual es el tipo de compensación más efectivo ya que el capacitor se instala en cada una de las cargas inductivas a corregir, de manera que la potencia reactiva circule únicamente por los conductores cortos entre el motor y el capacitor.

La compensación individual presenta las siguientes ventajas:

- Los capacitores son instalados cerca de la carga inductiva, la potencia reactiva es confinada al segmento más pequeño posible de la red.
- El arrancador para el motor puede también servir como un interruptor para el capacitor eliminando así el costo de un dispositivo de control del capacitor solo.
- El uso de un arrancador proporciona control semiautomático para los capacitores, por lo que no son necesarios controles complementarios.
- Los capacitores son puestos en servicio sólo cuando el motor está trabajando.

- Todas las líneas quedan descargadas de la potencia reactiva
- El costo de varios capacitores por separado es mayor que el de un capacitor individual de valor equivalente.
- Existe subutilización para aquellos capacitores que no son usados con frecuencia.

Es importante mencionar que para no incurrir en una sobre compensación de la potencia inductiva que provoque alteraciones en el voltaje que puedan dañar la instalación eléctrica, la potencia del banco de capacitores deberá limitarse al 90% de la potencia reactiva del motor en vacío.

Tamaño del capacitor

La potencia del capacitor a conectar directamente con el motor puede ser determinado de acuerdo a uno de los siguientes métodos:

- Multiplicar por 1/3 el valor del motor expresado en hp
- El 40% de la potencia del motor en Kw
- Consultar tablas con valores recomendados por NEMA (National Electrical Manufacturers Association)

Existen tablas que contienen las potencias máximas sugeridas de los capacitores (kVAR) para la compensación individual de motores en baja tensión. Cabe destacar que la compensación individual de motores menores de 10 kW generalmente no se utiliza.

viii. Compensación de un transformador individual

Compensación e incremento de la potencia de un transformador

La instalación de una batería de condensadores puede evitar el cambio de un transformador por una simple ampliación de carga. La potencia activa disponible en el secundario de un transformador es mayor a medida que el factor de potencia se acerque al máximo $\cos\phi$.

Es interesante este fenómeno, puesto que puede darse el caso que para una pequeña ampliación no sea necesario cambiar el transformador, sólo mejorar el factor de potencia.

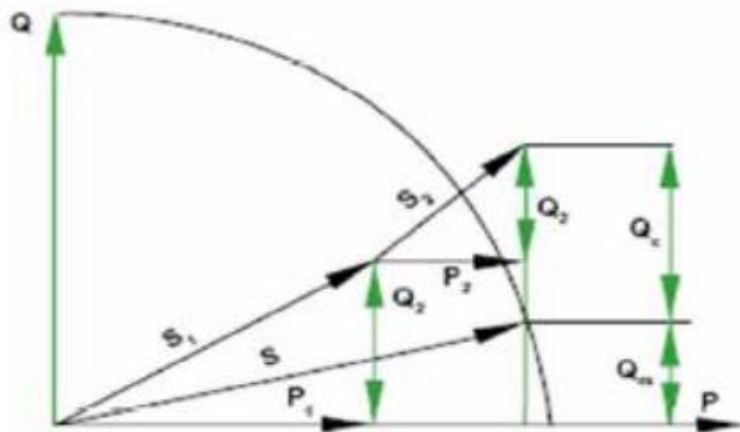


Figura 12: La compensación Q_c permite la ampliación S_2 sin tener que cambiar el transformador

ix. **Compensación de la energía reactiva propia de un transformador**

La energía reactiva que consume un transformador no es despreciable (del orden del 5%); ella puede ser suministrada por una batería de condensadores. La cantidad de energía (reactiva) que absorbe es función de la corriente magnetizante en vacío o en carga.

Para los transformadores de alimentación y la contratación en MT, es importante, para reducir los recargos y las pérdidas, compensar dicho consumo. Por tanto sólo consideraremos la función de los transformadores para cambios de tensión BT/BT o de régimen de neutro.

La compensación de los BT/BT puede realizarse a los bornes del transformador sin regulación automática, para el valor en vacío y las variaciones correspondientes a la carga por una compensación general regulable. Un transformador absorbe energía (reactiva) para asegurar su función.

V. Hipótesis y Variable

Hipótesis

Con la realización del estudio de parámetros eléctricos y armónicos en cualquier sistema eléctrico se puede determinar la afectación que tiene sobre el sistema y equipos finales y verificar que cumplan con la normativa,

.

Variables

1. Pertinencia de la Información.
2. Funcionalidad de la Información.
3. Adecuación de la Información.
4. Parámetros eléctricos de Interés Tratados (Voltaje, Corriente, Factor de Potencia, armónicos, transitorios).

VI. Metodología del Trabajo

En esta metodología exponemos un estudio de parámetros eléctricos y armónicos, para determinar los disturbios, oportunidades de ahorro y propuestas de solución a anomalías presentes en los puntos a medir.

El análisis de los parámetros deberá estar enfocado a cumplir con las normas nacionales e internacionales principales a este respecto. El análisis cumplirá los siguientes puntos:

1. Análisis previo

Se discutirá con los usuarios los antecedentes que se han detectado referentes a todos y cada uno de los problemas que se atribuyen a una mala calidad de energía eléctrica.

2. Inspección visual y recopilar datos

Se llevará a cabo una inspección visual y levantamiento de información al respecto a la instalación eléctrica, carga conectada y equipos afectados.

El objetivo de este paso es el de reunir datos de todo aquello relacionado con el uso de la energía de la industria textil, tales como: historial de consumo de energéticos, información recopilada como resultado de una inspección visual a toda la planta y levantamiento de datos de equipos consumidores de energía.

3. Medición de Parámetros Eléctricos

Se considera 48 horas ,2 días hábiles del equipo especialista en calidad de la energía eléctrica, se podrán realizar las mediciones necesarias para evaluar los sistemas y diagnosticar los problemas con sus posibles soluciones.

Para la realización del presente estudio, se utilizara el equipo trifásico marca Fluke 43B (POWER QUALITY ANALYZER).

4. Analizar los datos

Una vez que la información ha sido recopilada en los pasos anteriores, la información deberá ser capturada y ordenada para proceder a su análisis, con la finalidad de identificar las áreas de oportunidad de ahorro de energía que ofrezca la instalación.

Con la finalidad de identificar a los equipos y sistemas más intensivos en el consumo de Energía, la primera actividad a realizar en esta etapa de la calidad de la energía, es la realización de los balances de energía.

Por otra parte con la finalidad de asegurar que se están evaluando todas las medidas de ahorro posibles, es muy importante el contar con una lista de verificación de áreas de oportunidad de ahorro por tipo de aplicación.

- Elaboración de balances de energía
- Listas de medidas de ahorro de energía

5. Elaborar el informe final del estudio

El paso final es el de preparar un informe que contenga las observaciones y conclusiones del estudio, haciendo énfasis en las oportunidades de ahorro de energía, y el plan de acción para implantarlas, conteniendo las bases y los pasos seguidos en el análisis.

6. Aplicación de medidas correctivas

Todo lo anterior mencionado va encaminado al ahorro y control de la energía de la empresa, disminuyendo su gasto ante la distribuidora, mejorando el funcionamiento de sus procesos y equipos. Se ofrece además un reporte de oportunidades (en su caso de que existan) en distintas áreas como lo son: Iluminación, Control de la Demanda, Control de compresores y mejorar el F.P.

VII. Resultados del estudio de parámetros eléctricos y armónicos

Se realiza el presente Estudio de parámetros eléctricos y armónicos en la industria Textil Validos SA, con la finalidad de conocer el comportamiento actual del Sistema Eléctrico y recomendar soluciones a los problemas por pérdida de energía.

Se realizaron y analizaron los monitoreos de parámetros eléctricos (perfil de voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, distorsión armónica en voltaje y distorsión armónica en corriente), encontrándose comportamientos diferentes para las mediciones consideradas, debido principalmente al tipo de carga instalada.

El reporte muestra las conclusiones sobre violaciones a la norma, instalación eléctrica, y sobre cada uno de los disturbios de los parámetros eléctricos y armónicos registrados, recomendando el sistema de protección más adecuado para la solución de los problemas.

Los puntos considerados para el monitoreo, los cuales forman una parte del total de la carga instalada en el panel principal.

1. Metodología para Monitoreo

Para la realización del presente estudio, se hizo uso de un equipo trifásico marca Fluke 43B (POWER QUALITY ANALYZER) con sensores de corriente de una capacidad de 1,000 amperes y Pinza Amperimétrica marca Temars.

El equipo fue conectado en las terminales de entrada del interruptor principal del transformador, tomando así el total de la carga conectada durante el período de medición.

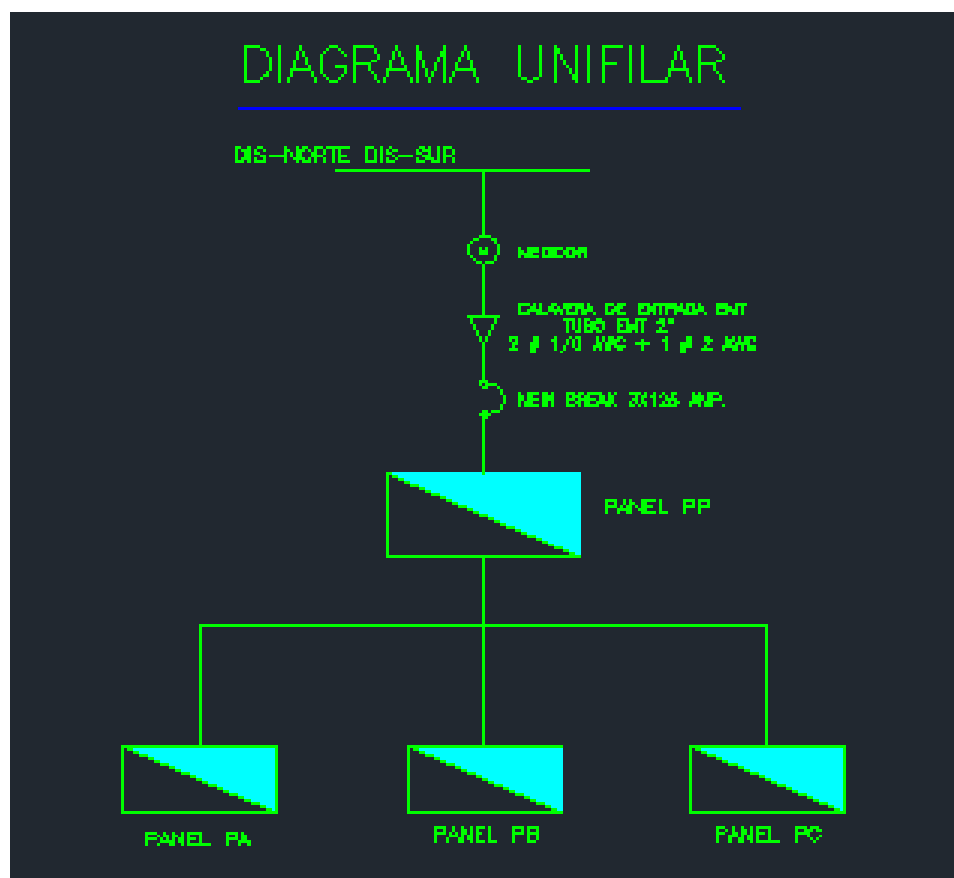
El período de medición fue de 3 días, durante las 24 horas continuas en el panel principal, tomando muestras cada 10 segundos. Esto representa un muestreo total de 25,920 muestras para cada parámetro eléctrico registrado.

Las 25,920 muestras registradas se almacenan en memoria y se procesan para obtener los perfiles de operación de cada parámetro eléctrico.

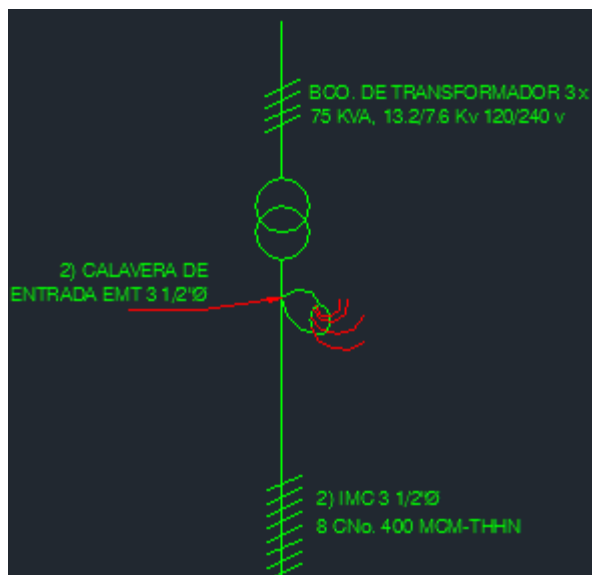
De estos parámetros eléctricos se obtienen los valores máximos, mínimos y promedios para establecer los límites de operación del sistema eléctrico y son comparados con lo que recomiendan los estándares internacionales.

Además se programó el equipo para detectar eventos de tipo transitorio en voltaje con variaciones por encima del 20% de voltaje pico, esto con la finalidad de evaluar si los arranques de cargas internas impactan en el voltaje de suministro, o en su defecto registrar los eventos que son generados externamente y son reflejados hacia este nodo

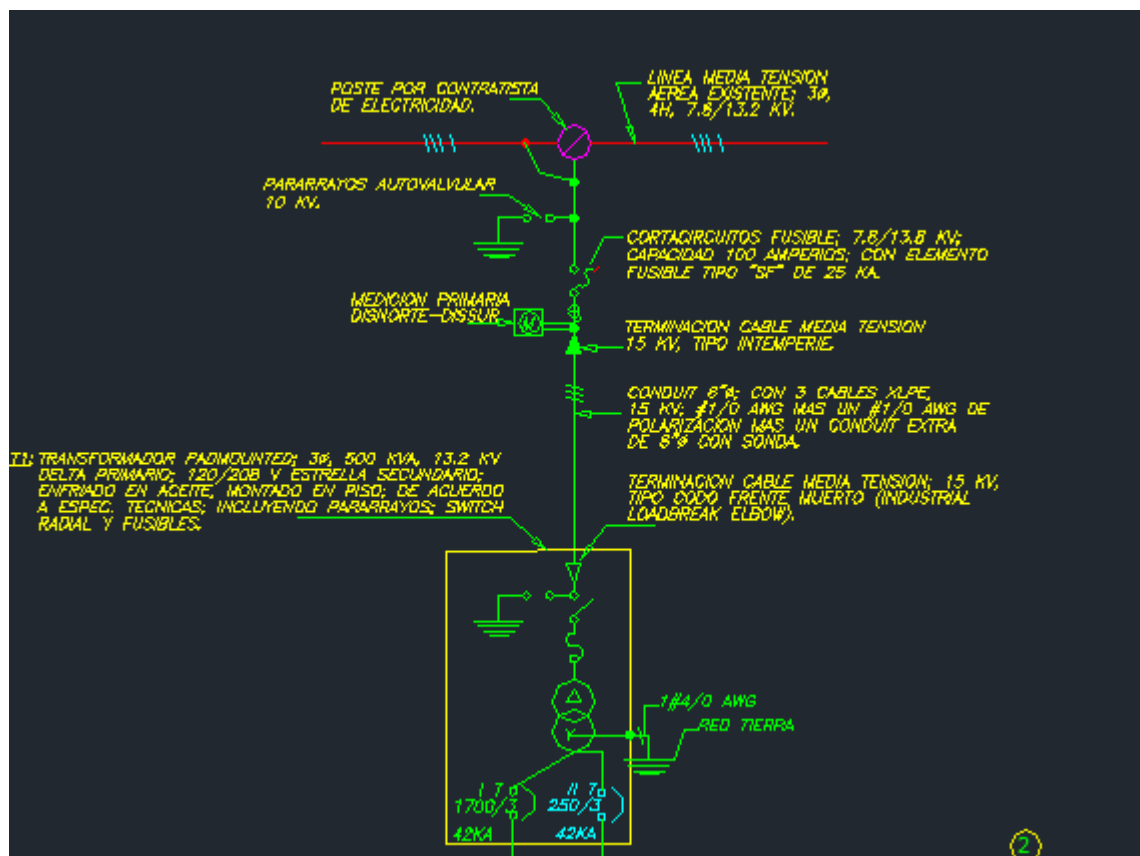
2. Diagrama Unifilar eléctrico de la instalación



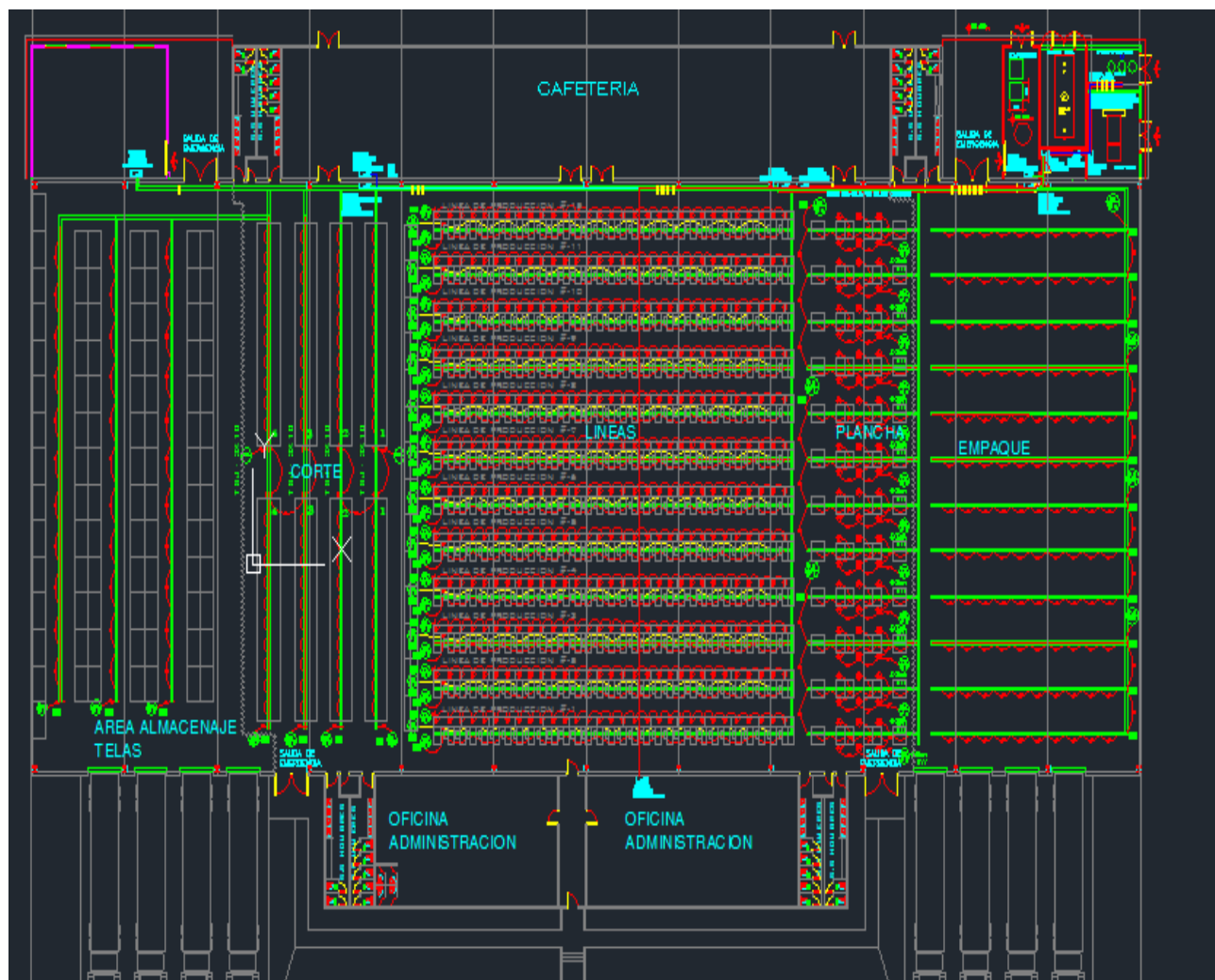
Banco de transformadores de 3 X 75 KVA



Segunda alimentación

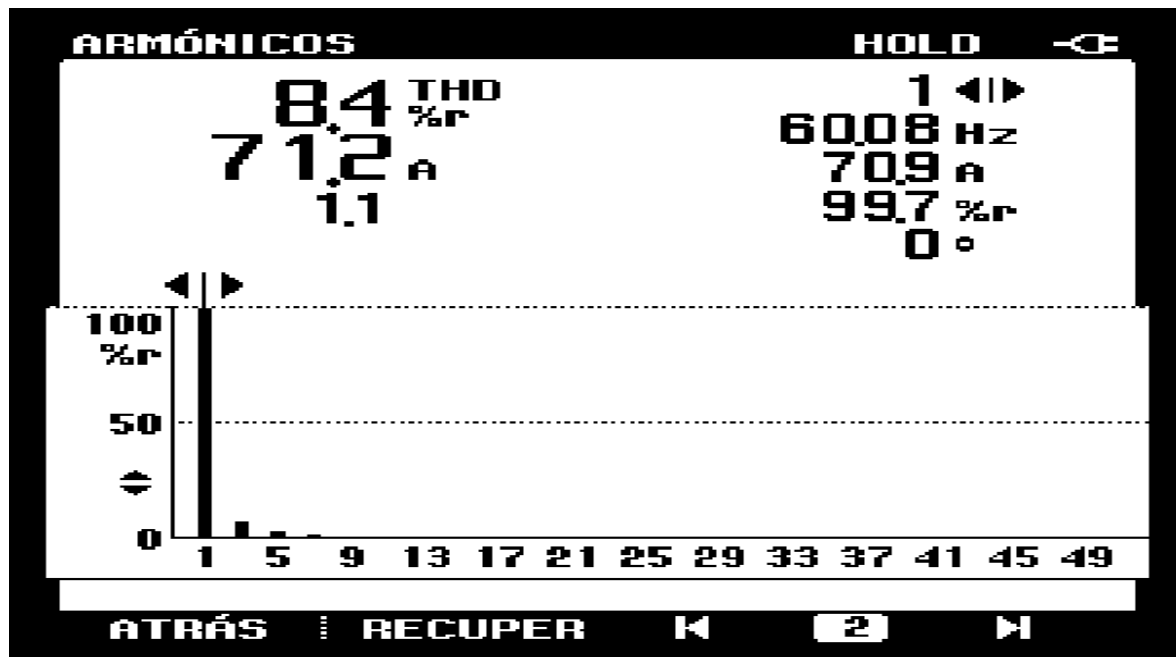


Plano de conjunto

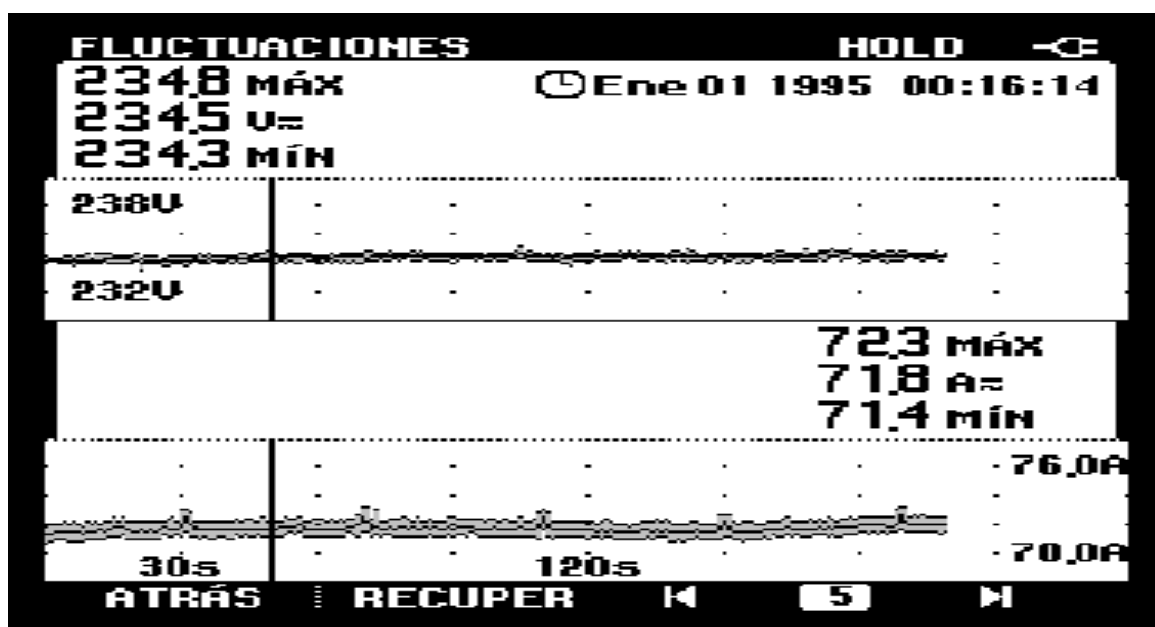


3. Resultados en mediciones de Ondas de tensión, corriente y fenómenos electromagnéticos en la instalación eléctrica

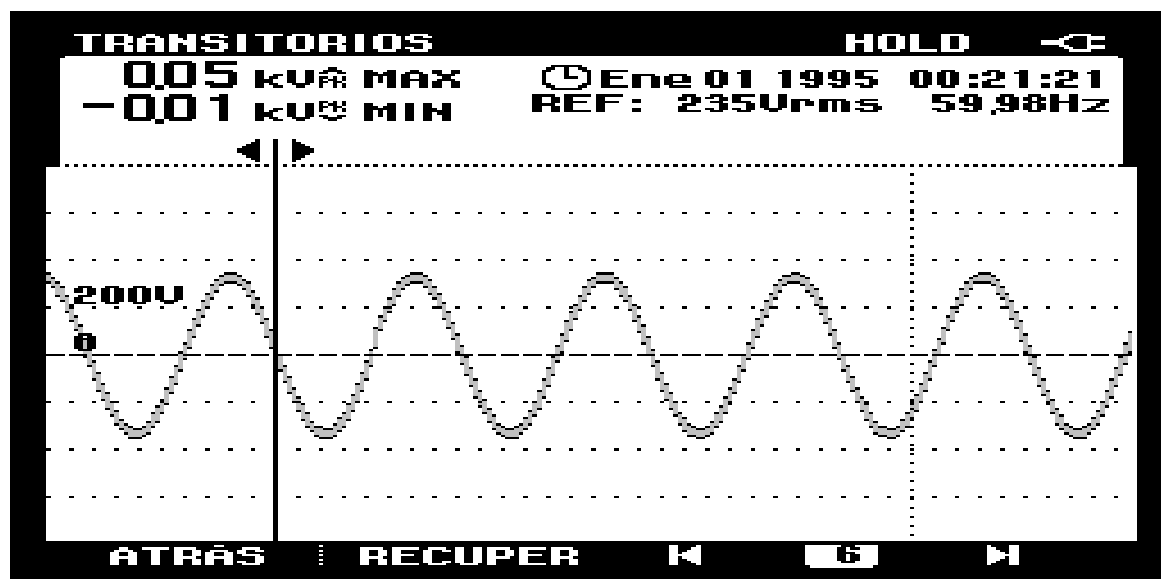
a) Medición de armónicos



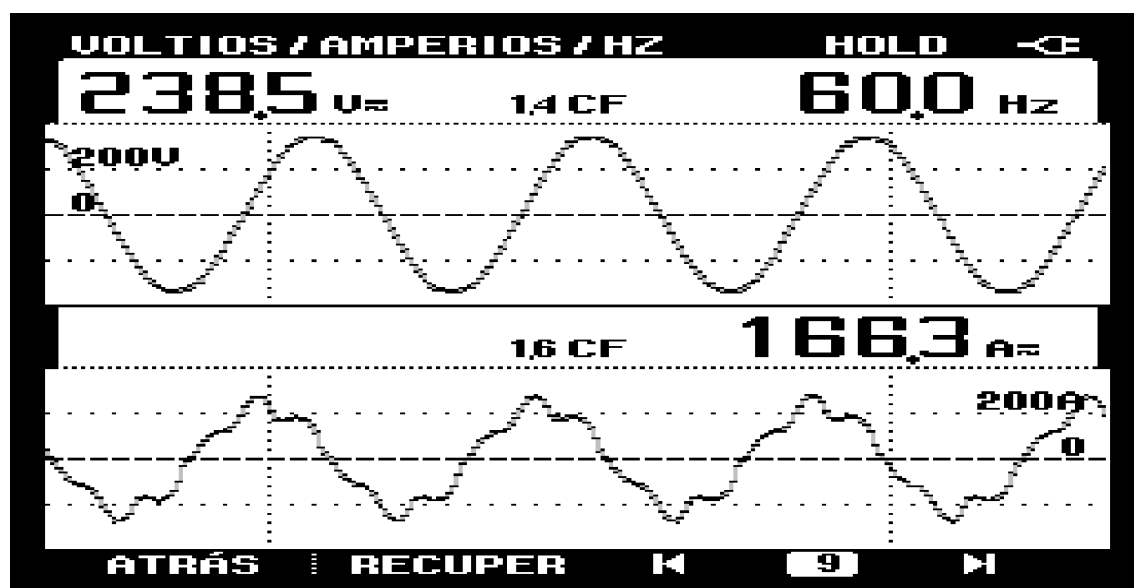
b) Medición de fluctuaciones



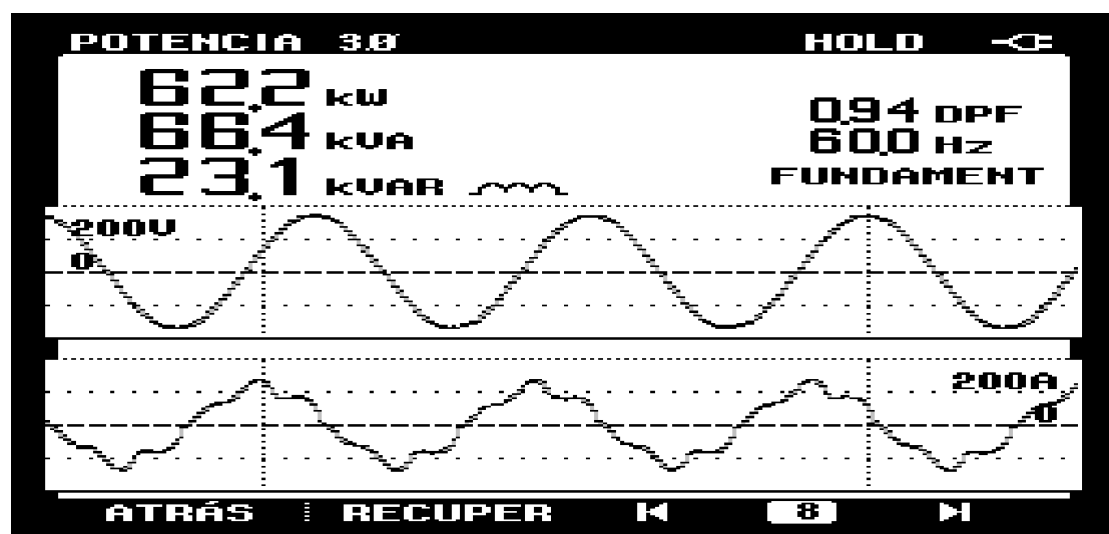
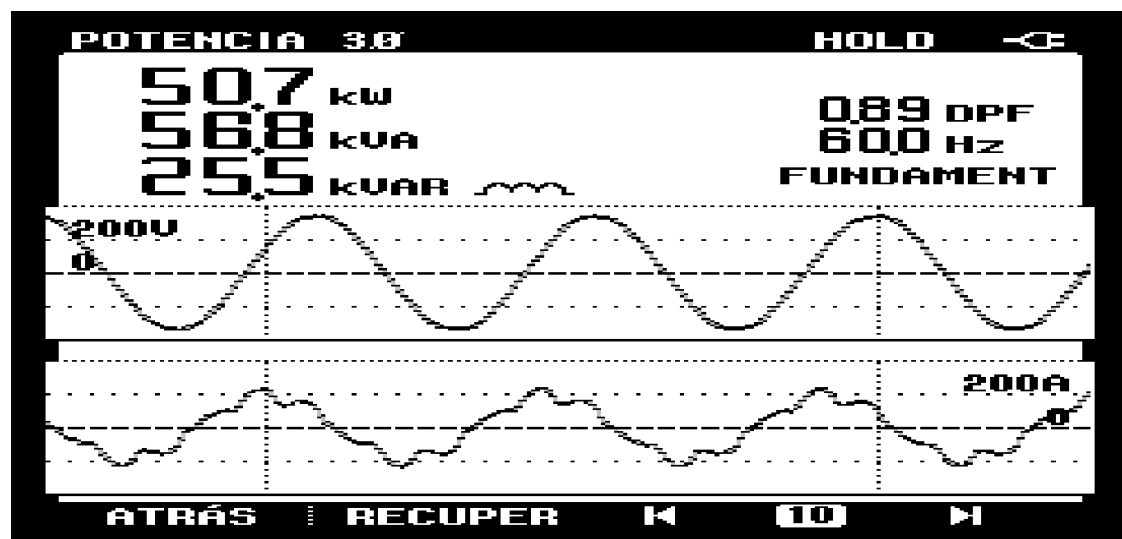
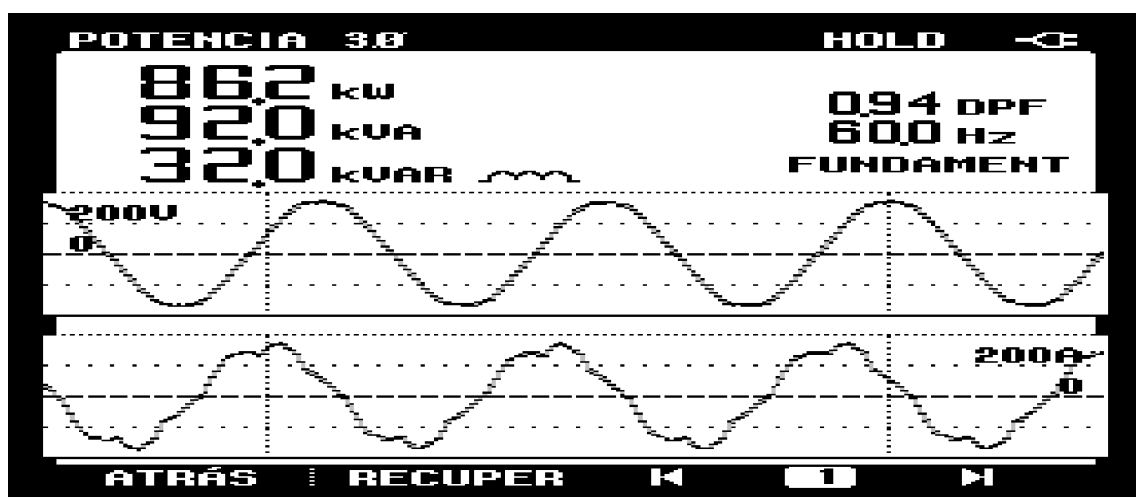
c) Medición de fluctuaciones



d) Señal de voltaje y amperaje



e) Medición de potencia



VIII. Recomendación en base a resultado del estudio de parámetros eléctricos y armónicos

Con el analizador de carga FLUKE POWER QUALITY ANALYZER 43B, se han obtenidos datos de la planta de los parámetros eléctricos como: potencia aparente (S), potencia reactiva (Q), potencia activa (P), factor de potencia (FP), además se han obtenido las curvas del comportamiento de los parámetros eléctricos que se muestran anteriormente ; esto se ha logrado mediante el software del equipo del analizador de carga que permaneció tomando mediciones, durante un período de tiempo que va desde el 21 de enero al 26 de enero del 2017.

Con todos estos parámetros eléctricos y los datos obtenidos en el levantamiento de campo, se procederá al diseño del banco de condensadores y al cálculo del valor de los condensadores en kVAR, que permitirá realizar la corrección del factor de potencia en el caso que lo necesite el sistema eléctrico de la planta textiles válidos.

Los datos que desplegó el analizador de carga se muestran en la tabla 6, los cuales fueron obtenidos del software **Power Quality Analyzer 43B (Ver anexo B)** del analizador de carga. De esta manera el analizador de carga toma mediciones de los parámetros eléctricos, de manera instantánea; los mismos que facilitarán el análisis al obtener una mayor información de las variaciones de los parámetros eléctricos.

Una vez obtenidos estos datos se procedió a seleccionar parámetros eléctricos como: potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia. Estos datos se tomaron del periodo del 21 de enero al 26 de enero, para ser analizados y poder determinar cuanta potencia reactiva requiere la industria textil y cómo varía el factor de potencia a diferentes horas del día.

Paneles de Distribución	KW	KVAR	KVA	FP	I (Amp)
Panel 1	86,2	32	92	0,90	200
Panel 2	50,7	25,5	56,8	0,88	174,6
Panel 3	38,8	15,5	41,8	0,89	100

Tabla 6: Medición de parámetros eléctricos de textiles validos

Otros datos importantes de analizar son el historial de consumo de energía reactiva y el comportamiento del factor de potencia de la planta en el año 2016 mostrado en la figura 13 y 14.



Figura 13: Consumo en Kvar mensual de textiles validos en 2016

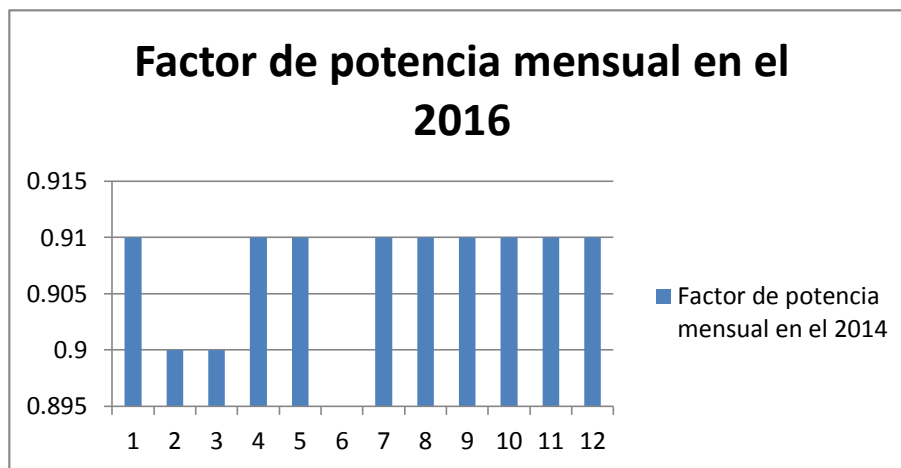


Figura 14: Factor de potencia mensual de textiles validos en 2016

A. Cálculo del banco de condensadores trifásico

Con los parámetros eléctricos que se adquirieron con el analizador de carga mostrados en el anexo B: los valores de potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia se procederá a realizar el diseño del banco de condensadores para la corrección del factor de potencia en la industria textiles válidos.

Estos parámetros permitirán seleccionar el tipo de banco de condensadores a utilizar, es decir, si se va a utilizar una compensación fija o una compensación variable automática; además se podrá seleccionar el valor de la potencia reactiva en kVAr del banco de condensadores, esta selección dependerá de la curva de carga, de la demanda de potencia reactiva y del factor de potencia de la empresa.

B. Cálculo de la potencia reactiva en kVAr para la corrección del factor de potencia

Este cálculo permitirá obtener el valor de los kVAr necesarios para no tener penalizaciones por un bajo factor de potencia y obtener beneficios técnicos económicos. A continuación se muestra el proceso para obtener el valor de la potencia reactiva necesaria que corregirá el factor de potencia.

Con los datos obtenidos por el analizador de carga mostrada en (Tabla 5), se procederá a calcular los kVAr necesarios en el período de tiempo de análisis. Con la ayuda de la tabla 6, se obtendrán los kVAr necesarios que requiere la planta para corregir el factor de potencia y no incurrir en penalizaciones.

Los datos a utilizar para obtener la potencia reactiva expresada en VAr (voltamperios reactivos) son: la potencia activa en vatios (P), el $\cos\phi$ inicial (tomado por el analizador de carga), el ángulo ϕ inicial y el ángulo ϕ final ($\cos\phi$ final deseado 0,96) , a continuación en la Tabal 7 se muestra el resumen y el valor en faradio de los bancos de capacitores .

	Actual					Corregido			Banco en micro Faradio
Paneles de Distribución	KW	KVAR	KVA	FP	I (Amp)	KW	KVAR	FP	
Panel 1	86,2	32	92	0,9	200	86,2	16,61	0,96	832,73
Panel 2	50,7	25,5	56,8	0,88	174,6	50,7	12,58	0,96	630,68
Panel 3	38,8	15,5	41,8	0,89	100	38,8	8,56	0,96	429,29
	f(Hz)	60		Voltaje	230				

Tabla 7: Medición de parámetros eléctricos en la industria textiles validos

Entonces según la tabla 7, se necesitará una potencia reactiva de 16.61 kVAr que asegurará un factor de potencia de 0,96 para el panel 1, una potencia reactiva de 12.58 kVAr que asegurara un factor de potencia de 0.96 para el panel 2 y una potencia reactiva de 7.56 kVAr que asegurara un factor de potencia de 0.96 para el panel 3.

La potencia reactiva a compensar es totalmente variable de acuerdo a los cálculos del Anexo B, con los datos de la tabla 7 se procederá a realizar la selección del tipo de compensación, que por ser variable el FP, sería mejor automático con lo que se realizará la corrección del factor de potencia.

Por tanto el ajuste del parámetro C/K permitirá el accionamiento de los pasos siguientes, una vez accionado el primer paso y si el controlador de factor de potencia detecta un $\cos\phi$ medio, accionará el siguiente paso y se tendrá una potencia reactiva mayor.

De igual manera cuando el controlador de factor de potencia detecte un valor de $\cos\phi$ mínimo accionará el siguiente paso. Finalmente se logrará que en cualquier momento del día se tenga un factor de potencia lo más cercano a 0,96.Como se muestra en la tabla 8.

Ahorros

Paneles de Distribución	KW	KVAR	KVA	FP
Panel 1	86,2	16,61	87,78	0,96
Panel 2	50,7	12,58	52,23	0,96
Panel 3	38,8	8,56	39,73	0,96

Tabla 8: Cálculos de ahorros en KVar

Características de tarifas horarias T3-MTH y T3-BTH según normas Nicaragua

Para los clientes de Grandes Demandas se efectuará la medición de energía por bloque horario típico, la medición de la demanda máxima de potencia en el bloque horario de punta, y la demanda máxima de potencia en el período fuera de punta. Las tarifas por el servicio convenido en cada punto de entrega y opción tarifaria, estarán compuestas por:

- Un cargo fijo mensual, independiente de los consumos registrados, de acuerdo a la capacidad de suministro contratada.
- Un cargo por cada kW de la capacidad de suministro en punta convenida, haya o no consumo de energía.
- Un cargo por cada kW de la capacidad de suministro fuera de punta convenida, haya o no consumo de energía.
- Un cargo por la energía eléctrica entregada, de acuerdo con el consumo registrado en cada uno de los bloques horarios: punta, madrugada y horas restantes.
- Si correspondiere, un recargo por factor de potencia.

Cargo por bajo factor de Potencia.

Cargo por factor de potencia. Se aplica sólo a servicios con medición de reactiva cuando el factor de potencia registrado es menor de 0.85.

En este caso no existe penalización por bajo factor de potencia, por lo tanto resultaría costoso compensar la energía reactiva de los equipos y esta inversión no será reflejada en la factura eléctrica.

IX. Conclusiones

Se lograron realizar las respectivas mediciones sobre los parámetros eléctricos, Transitorios Interrupciones, subtensión, sobretensión, Distorsión de la forma de onda, Fluctuaciones de tensión, Variaciones de frecuencia en la red de la industria textiles validos con ayuda de los equipos de medición marca Fluke 43B.

Con las mediciones realizadas sobre los parámetros eléctricos y armónicos para el desarrollo del estudio se construyeron tablas y gráficos para un mejor análisis de los resultados y lograr detectar cual sería la mejor decisión en cuanto a la solución de los hallazgos.

Con todos estos parámetros eléctricos y los datos obtenidos en el levantamiento de campo, se procedió a realizar una propuesta para corregir los hallazgos encontrados en la red eléctrica, pasando así al diseño del banco de condensadores y al cálculo del valor de los condensadores en kVAr, que permitirá realizar la corrección del factor de potencia en el caso que lo necesite el sistema eléctrico de la planta textiles válidos.

De igual manera en este estudio se contribuyo al análisis de los parámetros eléctricos enfocado a cumplir con las normas eléctricas nacionales e internacionales.

X. Bibliografía

1. HARPER, Enríquez, El ABC de la calidad de la energía eléctrica, Editorial Grupo Noriega, México-DF 2008, p.20.
2. FERRACI, Philippe. (2004). La calidad de la energía eléctrica, Cuaderno Técnico nº 199 SCHNEIDER ELECTRIC.
3. IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems (IEEE Std. 519-1992). Institute of Electrical and Electronics Engineers. ISBN 1-55937-239-7. Estados Unidos, 1993.
4. NEMA Standards Publication ANSI/NEMA MG 1-2003, "Motors and Generators". National Electrical Manufacturers Association. Estados Unidos, 2004.
5. Electrical Power Systems Quality. Roger C. Dugan, Mark F. Mc Granaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty. Ed. Mc Graw -Hill. Estados Unidos, 1996.
6. Nassir Sapag Chain . Preparación y Evaluación de Proyectos 2da Edición.
7. Roberto Hernández Sampieri. Metodología de la Investigación. Editorial, MCGRAW HILL.
8. Recomendación del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE (por sus siglas en inglés), para Monitoreo de Calidad de la Energía, Versión del año 1995. Sitio web IEEE, <http://www.ieee.org>. Investigado el 04/01/2017.
9. Especificaciones técnicas del Analizador Trifásico de Calidad Eléctrica Serie 430 de Fluke. Sitio web Fluke, <http://www.fluke.es>. Investigado el 06/01/2017.